

Antonio Conceição Paranhos Filho  
Camila Leonardo Miotto  
Dhonatan Diego Pessi  
Roberto Macedo Gamarra  
Normandes Matos da Silva  
Vinícius de Oliveira Ribeiro  
Jéssica Rabito Chaves  
(Organizadores)

# GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

UNIEDUSUL  
EDITORA





Antonio Conceição Paranhos Filho

Camila Leonardo Miotto

Dhonatan Diego Pessi

Roberto Macedo Gamarra

Normandes Matos da Silva

Vinícius de Oliveira Ribeiro

Jéssica Rabito Chaves

## **GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS**



2020 Uniedusul Editora  
Copyright da Uniedusul Editora  
Editor Chefe: Prof<sup>o</sup> Me. Wellington Junior Jorge  
Diagramação e Edição de Arte: Uniedusul Editora  
Revisão: Os autores

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G352 Geotecnologias para aplicações ambientais [recurso eletrônico] /  
Organizadores Antonio Conceição Paranhos Filho... [et al.]. –  
Maringá, PR: Uniedusul, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86010-62-6

1. Geociências. 2. Geotecnologias. 3. Biodiversidade –  
Conservação. I. Paranhos Filho, Antonio Conceição. II. Mioto, Camila  
Leonardo. III. Pessi, Dhonatan Diego. IV. Gamarra, Roberto Macedo.  
V. Silva, Normandes Matos da. VI. Ribeiro, Vinícius de Oliveira.  
VII. Chaves, Jéssica Rabito.

CDD 333.95

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



10.29327/527680

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido fazer download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.uniedusul.com.br](http://www.uniedusul.com.br)

## Sumário

<b>CAPÍTULO 01</b> .....	<b>09</b>
INTRODUÇÃO	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Camila Leonardo Miotto	
Dhonatan Diego Pessi	
<b>CAPÍTULO 02</b> .....	<b>16</b>
IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Camila Leonardo Miotto	
Thais Gisele Torres Catalani	
Dhonatan Diego Pessi	
<b>CAPÍTULO 03</b> .....	<b>25</b>
RESOLUÇÃO	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Thais Gisele Torres Catalani	
José Marcato Junior	
Dhonatan Diego Pessi	
<b>CAPÍTULO 04</b> .....	<b>60</b>
SATÉLITES E SENSORES	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Luciana Escalante Pereira	
Camila Leonardo Miotto	
Dhonatan Diego Pessi	
<b>CAPÍTULO 05</b> .....	<b>77</b>
SENSORIAMENTO REMOTO E CARTOGRAFIA APLICADA	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
José Marcato Junior	
Fabício dos Santos Prol	
Antonio Maria Garcia Tommaselli	
<b>CAPÍTULO 06</b> .....	<b>105</b>
CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Giancarlo Lastoria	
Ana Paula Garcia Oliveira	
Anny Keli Aparecida Alves Cândido Bolognez	
<b>CAPÍTULO 07</b> .....	<b>135</b>
DADOS ESPACIAIS	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
José Marcato Junior	
Roberto Macedo Gamarra	



<b>CAPÍTULO 08</b> .....	<b>140</b>
GEOESTATÍSTICA APLICADA A DADOS AMBIENTAIS	
Marcelo Monteiro da Rocha	
Ciomara Souza Miranda	
Thais Gisele Torres Catalani	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
<b>CAPÍTULO 09</b> .....	<b>150</b>
GNSS/GPS	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Camila Leonardo Miotto	
José Renato Silva de Oliveira	
Heitor Martins	
José Marcato Junior	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>163</b>
SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Roberto Macedo Gamarra	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>182</b>
SOFTWARES LIVRES E GRATUITOS	
Camila Leonardo Miotto	
Luciana Escalante Pereira	
José Renato Silva de Oliveira	
Edilce do Amaral Albrez	
Lucas Cemin Forbrig	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Vinícius de Oliveira Ribeiro	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>197</b>
GEOTECNOLOGIAS LIVRES/GRATUITAS APLICADAS AO SANEAMENTO BÁSICO	
Vinicius de Oliveira Ribeiro	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>205</b>
ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR EM PASTAGEM	
Bianca Souza de Oliveira	
Alesson Pires Maciel Guirra	
Jaíza Santos Motta	
Isabela Sampaio Carvalho	
Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>224</b>
ANÁLISE HIDROLÓGICA POR MEIO DE MODELOS DIGITAIS	
Jaíza Santos Motta	
Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues	
Alesson Pires Maciel Guirra	
Alisson André Ribeiro	

<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>235</b>
MODELAGEM DO TERRENO	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Thais Gisele Torres Catalani	
Dhonatan Diego Pessi	
Camila Leonardo Miotto	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>245</b>
MONITORAMENTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: SENSORIAMENTO REMOTO COMPARADO ÀS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS	
Dhonatan Diego Pessi	
Jefferson Vieira José	
Camila Leonardo Miotto	
Normandes Matos da Silva	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>256</b>
MONITORAMENTO MENSAL DE QUEIMADAS NO PANTANAL DE MATO GROSSO DO SUL UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE – GEE: UM EXEMPLO DIDÁTICO DE UTILIZAÇÃO	
Alessandro Copatti	
Leandro Camillo de Lelles	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>277</b>
MAPEAMENTO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE (TST), COM BASE EM IMAGEM DE SATÉLITE: CASO DA ÁREA URBANA DE MOSSORÓ/RN	
Wesley Kevin Souto do Vale	
Marco Antonio Diodato	
Alfredo Marcelo Grigio	
Ana Luiza Bezerra da Costa Saraiva	
Luiz Tavernard de Souza Neto	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>288</b>
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	
Marco Antonio Diodato	
Alfredo Marcelo Grigio	
Kleisson Eduardo Ferreira da Silva	
Wesley Misael Bezerra Damasio	
Camila Leonardo Miotto	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>301</b>
GEOPROCESSAMENTO EM ÁREAS URBANAS	
Alexandre Augusto Moreira Lajo	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>331</b>
ECOLOGIA DA PAISAGEM UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS	
Roberto Macedo Gamarra	
Ana Paula Garcia Oliveira	
Antonio Conceição Paranhos Filho	



<b>CAPÍTULO 22.....</b>	<b>337</b>
ATUAÇÃO DO MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL NA FISCALIZAÇÃO DO DESMATAMENTO COM APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS: O PROGRAMA DNA AMBIENTAL	
Ariadne Barbosa Gonçalves	
Luciano Furtado Loubet	
Jaíza Santos Motta	
Wedney Rodolpho de Oliveira	
Alexandra Penedo de Pinho	
<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>351</b>
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS - RPA	
Anny Keli Aparecida Alves Cândido Bolognez	
Alessana Franciele Schlichting	
Normandes Matos da Silva	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Marcelo Ricardo Haupenthal	
Dhonatan Diego Pessi	
Domingos Sávio Barbosa	
Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco	
Pedro Lopes Miranda Júnior	
<b>CAPÍTULO 24.....</b>	<b>373</b>
GLOSSÁRIO	
Antonio Conceição Paranhos Filho	
Gustavo Ferreira de Souza	
Lorena Avelina Rojas Gutierrez	
Jéssica Rabito Chaves	

## PREFÁCIO

De antemão, afirma-se aqui, que este livro é, em si, um material valioso, pelo seu enfoque descomplicado e didático sobre diversos assuntos que envolvem as geotecnologias, importante, pela sua contribuição aos ambientes acadêmico e profissional e, ainda, necessário, por dar inestimável suporte a futuros estudos e pesquisas em diversas áreas da ciência.

Nessa edição, o livro se atualiza em termos de geotecnologias, que evoluem rápida e constantemente, e se aprimora nos seus usos com a exposição de casos concretos, com qualidade intelectual e técnica. Por isso, o livro é um excelente material para professores, alunos, profissionais e interessados no assunto.

No decorrer dos capítulos vão sendo apresentados, didaticamente, conceitos fundamentais, assim como tecnologias e ferramentas, para quem deseja se iniciar na área do geoprocessamento, mas satisfaz, também, a quem busca se aprofundar mais no tema, pois o livro segue em uma sequência harmoniosa até conduzir ao leitor para uma maior profundidade, materializada em capítulos que apresentam, de forma totalmente compreensiva e descomplicada, diversos usos práticos das tecnologias e ferramentas disponível.

Traz mérito ao livro o destaque à possibilidade e às potencialidades do uso de softwares livres que, principalmente no ambiente universitário, com poucos recursos financeiros para a aquisição de softwares pagos, é de fundamental importância para o desenvolvimento de pesquisas e estudos.

Diante disso, é importante enaltecer a iniciativa dos organizadores: Professores Antonio Paranhos, Camila Leonardo Miotto, Dhonatan Diego Pessi, Roberto Macedo Gamarra, Normandes Matos da Silva, Vinícius de Oliveira Ribeiro e Jéssica Rabito Chaves, na atualização dessa proposta.

Os capítulos iniciais se desenvolvem, principalmente, nos conhecimentos teóricos básicos e práticos sobre satélites, sensores e imagens de satélite. Os capítulos seguintes prosseguem para sensoriamento remoto, incluindo as imprescindíveis noções de cartografia, assim como a parte operacional, tais como: classificação de imagens, geoestatística, GPS, modelagem e SIG. A incorporação em um capítulo específico sobre o uso e aplicações de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) revela a contemporaneidade do livro.

Os capítulos sobre casos concretos de aplicações de geotecnologias percorrem múltiplos assuntos que exemplificam a relevância do livro. Os temas, mesmo que em capítulos separados, se entrelaçam na questão ambiental, pois tratam sobre mudança climática, desmatamento, geotecnologias na administração pública, temperatura de superfície, erosão e queimadas. Assim, dentre as qualidades do livro, deve ser enaltecido, sem sombras de dúvida, a sua aplicabilidade.

Desejamos aos leitores que façam bom proveito do livro e aos autores as nossas felicitações por mais esta edição e que ela alcance sucesso, dentro e fora da academia.

Alfredo Marcelo Grigio  
Prof. Adjunto IV do Departamento de Gestão Ambiental da UERN.  
Marco Antonio Diodato  
Prof. Associado do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais - UFERSA



Gostaríamos de agradecer a todos os autores das mais diferentes instituições de ensino superior, que com muito zelo e sem medir esforços contribuíram para a confecção dessa obra de qualidade ímpar, e que muito contribuirá para a comunidade científica e comunidade geral. Cada capítulo possui um item próprio de agradecimentos inerentes a cada estudo aqui apresentado.

Agradecemos também:

Ao PGTA/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais),  
da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Ao PGRN/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais),  
da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

# Introdução

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Camila Leonardo Miotto<sup>2</sup>, Dhonatan Diego Pessi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP - Universidade de São Paulo, <sup>2</sup>Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Desde o final da década de 1920, as fotografias aéreas têm sido uma ferramenta importante em todos os tipos de trabalho de mapeamento e planejamento. Embora relativamente recente, o uso técnico e comercial de imagens de satélite tem crescido a cada ano. A queda do custo das imagens e dos sistemas para manuseá-las têm sido os responsáveis por tornarem essas ferramentas úteis disponíveis a todos os tipos de usuários e não mais apenas àqueles que tinham acesso a caras estações de trabalho.

Quando se observa a vasta literatura disponível sobre a aplicação de imagens de satélite, percebem-se problemas quanto à nomenclatura e conceitos aplicados de maneira inadequada. Além disso, existe uma grande variedade de satélites, oferecendo diversos produtos. Os termos aplicados nesses casos nem sempre são compreendidos, às vezes nem mesmo por quem já trabalha na área.

A revisão bibliográfica mostrou que existem muitas confusões na terminologia utilizada pelos diferentes autores. Um mesmo termo é apresentado com diferentes conceitos, muitas vezes conflitantes. Portanto, parte da terminologia utilizada neste trabalho é mantida em inglês para não agravar esta situação por se tratar de termos consagrados na literatura. Os principais termos utilizados neste livro se encontram em um glossário no final da publicação. É interessante destacar que esse livro tem sua origem em dois livros anteriores: Paranhos Filho et al. (2008) e Paranhos Filho et al. (2016), porém, o presente livro traz, além da atualização das matérias e temas, novo capítulos.

## 1.1. Conceito de Sensoriamento Remoto

O termo sensoriamento remoto geralmente é empregado inadequadamente quando se fala exclusivamente de imagens de satélite da superfície da Terra. Sensoriamento remoto é o nome comum para todos os métodos usados para coletar dados e informações à distância do objeto ou fenômeno em estudo por algum tipo de dispositivo de gravação.



Nesse sentido, vários são os níveis de obtenção de dados a partir de sensoriamento remoto, que variam de acordo com o veículo ou plataforma utilizado para isso. Novo (2010) cita três: o nível de laboratório e campo, o nível de aeronave (suborbital) e o nível orbital (satélites) (PESSI, 2019).

No nível de laboratório, o trabalho é realizado com pequenas porções do objeto, sendo possível controlar as condições e fixar variáveis, como a resolução espectral do sensor e a atmosfera, obtendo-se assim informações a respeito de como se comporta espectralmente esse objeto sem a interferência de fatores externos. Já no campo, o alvo é influenciado por diversos fatores (NOVO, 2010). Nesses casos, são utilizados equipamentos chamados de radiômetros e espectroradiômetros.

O nível de aeronave, segundo a autora, é empregado para a aquisição de informações particulares de um alvo quando, por exemplo, deseja-se verificar os objetos presentes em imagens de satélites. Até pouco tempo atrás esse tipo de levantamento era realizado através de aeronaves pilotadas, o que elevava consideravelmente o custo. Atualmente, tem-se as RPAs (Aeronaves Remotamente Pilotadas) e os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), que são sistemas de veículos aéreos não tripulados, onde há um operador remoto que controla e prepara todo o voo para a aquisição das imagens. São várias as RPAs hoje no mercado, com diversos sensores acoplados, como por exemplo, câmeras NIR, RGB, *RedEdge*, Lidar, *Thermal* e sensores Hiperspectral. A vantagem do uso de RPAs é a facilidade na aquisição das imagens, a pequena janela de tempo entre as imagens e o baixo custo (PESSI, 2019).

Por fim, o nível orbital corresponde à obtenção de dados através do emprego de sensores a bordo de satélites que orbitam a Terra (NOVO, 2010). Em geral, os sensores são divididos em dois grupos com base em soluções técnicas separadas. Os sistemas de sensoriamento remoto passivos medem a radiação existente, como a radiação solar refletida da superfície da Terra. Já os sistemas de sensoriamento remoto ativos emitem radiação no objeto de estudo e medem a quantidade de radiação retornada ao sensor.

Assim, tendo em vista os diferentes níveis de aquisição de dados, Novo (2010, p. 28) propôs a seguinte definição de sensoriamento remoto:

A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos ou processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010, p. 28).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto tem aumentado rapidamente, encontrando novos campos de aplicação à medida em que a tecnologia avança no desenvolvimento do controle de sistemas de detecção remoto.

Portanto, o objetivo deste livro foi não só revisar os temas de sensoriamento remoto existentes, mas introduzir o conceito de sensoriamento remoto ao leitor, fornecendo assim uma base para a compreensão dos princípios de sensoriamento remoto necessários ao trabalhar com aplicações desta técnica.

A ênfase estará no sensoriamento remoto por dados de satélite, chamado de sensoriamento remoto orbital, mas também serão tratados alguns aspectos do sensoriamento

remoto fotográfico tradicional e de fotografias aéreas usando câmeras aéreas digitais acopladas às Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs).

## 1.2. Histórico do Imageamento Remoto

Lillesand et al. (2004) descrevem o início do sensoriamento remoto do espaço em 1891, com um sistema de câmera propulsionado por foguete e recuperado com paraquedas, patenteado pelo alemão Ludwig Rahrman. Em 1907, outro alemão, Alfred Maul, adicionou o conceito de giro-estabilização ao sistema de câmeras em foguetes. Em 1912, ele colocou em órbita um sistema de câmera de formato de 200 x 250 mm a uma altitude de 790 m.

Os autores continuam a descrição de que, no período de 1946 a 1950, pequenas câmeras eram transportadas a bordo dos foguetes V-2 capturados na 2ª Grande Guerra, lançados do Novo México. Neste período, porém, as fotografias não eram o objetivo principal do lançamento dos foguetes, o que tornava inferior a qualidade destas fotos.

O primeiro satélite para observação foi o TIROS-1 (*Television Infrared Observation Satellite*) em 1960. Nos anos seguintes, o imageamento foi evoluindo, porém eram desenhados para "ver" a atmosfera e não através dela. Assim, os primeiros satélites não forneciam bons dados ambientais da superfície terrestre. A missão GT-4, do programa Gemini, foi a primeira a ter uma finalidade formal de elaborar fotografias da superfície terrestre a partir do espaço. O objetivo era dirigido à geologia e os excelentes resultados, à época, conduziram à realização de missões subsequentes, iniciando-se a ideia do imageamento sistemático repetitivo da superfície terrestre (LILLESAND et al., 2004).

Os estudos continuaram evoluindo com o tempo, merecendo destaque o *Skylab* de 1973 e a estação experimental Apollo-Soyuz/EUA-URSS (LILLESAND et al., 2004). Embora os resultados ainda não fossem comparáveis aos atuais, demonstraram, na prática, o potencial das imagens de sensoriamento remoto.

Na sequência, diversos países entraram na era do sensoriamento remoto espacial. Um dos programas mais importantes já desenvolvidos é o Landsat, da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), iniciado em 23 de julho de 1972, com o então ERTS 1 (*Earth Resources Technology Satellite*). Em 22 de janeiro de 1975 foi lançado o segundo satélite e a NASA renomeou, oficialmente, o programa ERTS para Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*). O Landsat 3 foi lançado em 5 de março de 1978; o Landsat 4 em 16 de julho de 1982; o Landsat 5 em 1º de março de 1984 e o Landsat 7 em 15 de abril de 1999. O Landsat 6 foi lançado em 5 de outubro de 1993, apresentando falhas logo após o lançamento e não chegou a imagear. Os Landsat 1, 2 e 3 estão atualmente desativados. O Landsat 4 não está imageando e o Landsat 7 apresentou problemas no mecanismo do sensor em 31 de maio de 2003, encerrando assim suas atividades (NASA, 2020a).

Projetado para uma vida útil aproximada de 3 anos, o Landsat 5 imageou de 1984 até 2011, porém apresentou problemas no decorrer dos anos de seu funcionamento. Em novembro de 2005, por problemas no mecanismo de orientação dos painéis solares, a aquisição de imagens foi suspensa. Em 27 de janeiro de 2006, a USGS (*United States Geological Survey*) anunciou a solução do problema e a reativação do satélite, que apresentou problemas novamente em 16 de março de 2006, solucionados em seguida (NASA, 2020a). Em dezembro



de 2012, a USGS anunciou que o Landsat 5 seria desativado e em janeiro de 2013 ele imageou sua última cena. Ao longo de 27 anos esse satélite orbitou o planeta mais de 150 mil vezes e captou e transmitiu mais de 2,5 milhões de imagens da superfície terrestre. A longevidade do satélite é reconhecida pelo *Guinness Book of Records* como o mais antigo equipamento de observação remota da história (NASA, 2020a).

Para dar continuidade ao programa, foi lançado em fevereiro de 2013, o satélite Landsat 8, o qual transporta dois instrumentos, o OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Esses sensores fornecem cobertura global da Terra, com resolução espacial de 30 metros (nas bandas do visível, NIR, SWIR), 100 metros (banda termal) e 15 metros (banda pancromática) (NASA, 2014). Maiores detalhes sobre o Landsat 8 estão no Capítulo 4.3.

O próximo satélite da família, o Landsat 9, tem previsão de lançamento em 2021, projetado para uma vida útil de cinco anos, levando a bordo os instrumentos OLI-2 e TIRS-2, os quais fornecerão dados em 11 bandas espectrais (NASA, 2020b).

Desenvolvido em conjunto pelo USGS e NASA, o programa Landsat merece ainda a citação de ser ímpar, pois, por mais de 30 anos, produziu milhares de imagens da Terra, as quais foram utilizadas por incontáveis pesquisadores em diversas áreas do conhecimento, como geologia, geomorfologia, mapeamentos da cobertura florestal e do solo, agricultura, análises multitemporal, planejamento e gestão ambiental ou regional, além de educação entre outras.

Também merece citação o Programa SPOT (*Système Pour l'Observation de la Terre*), iniciado pela França em 1978, com apoio sueco e belga. As imagens fornecidas pelos satélites Landsat e Spot são, atualmente, os tipos mais comuns e difundidos, porém não são os únicos satélites ambientais. A Índia tem o programa IRS, iniciado em 1988. Rússia e Japão também têm seus programas de sensoriamento remoto ambiental (LILLESAND et al., 2004; SPOT IMAGE, 2015).

A partir do final da década de 1990 foi iniciado o comércio de imagens de alta resolução espacial (*pixels* com menos de 10 m ao solo), merecendo destaque como exemplos os satélites Ikonos (1 m ao solo) e Quickbird (0,60 m). Atualmente, tem-se imagens de 31 cm obtidas a partir do satélite World View-3 na banda pancromática. Lançado em 2014, sua área mínima de cobertura é de 25 km<sup>2</sup> com 3 km de largura; e o World View-4, com a mesma resolução de 0,31 m na banda pancromática e entrou em órbita no ano de 2016 (ENGESAT, 2020a, b).

Cientes da importância ambiental deste tipo de satélite e levando em conta os aspectos comerciais do sensoriamento remoto, os governos do Brasil e da China assinaram no dia 6 de julho de 1988, um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (INPE, 2011).

O Programa CBERS contemplava o desenvolvimento e construção de dois satélites de sensoriamento remoto que também levassem a bordo, além de câmeras imageadoras, um repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. Os CBERS-1 e 2 são idênticos em sua constituição técnica, missão no espaço e em suas cargas úteis (equipamentos que vão a bordo, como câmeras, sensores, computadores entre outros equipamentos voltados para experimentos científicos). Os equipamentos foram dimensionados para atender às necessidades dos dois países, mas também para ingressar no emergente mercado de imagens

de satélites até então dominado pelos países que integram o bloco das nações desenvolvidas (INPE, 2018a).

O CBERS-1 foi lançado com sucesso pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. O lançamento ocorreu às 1h 15min (horário de Brasília). O segundo satélite, CBERS-2, é tecnicamente idêntico ao CBERS-1 e foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, do mesmo centro de lançamento. O horário do lançamento foi às 1h 16min no horário de Brasília.

Para preencher a lacuna de tempo entre o final de operação do CBERS-2 e início do imageamento com o CBERS-3, foi lançado em setembro de 2007 o CBERS-2B, cuja principal diferença em relação ao CBERS-1 e 2 é a substituição da câmera infravermelha por uma de alta resolução espacial (com 2,5 m). Mais informações sobre o CBERS estão disponíveis no Capítulo 4.1)

China e Brasil decidiram então expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria sino-brasileira (INPE, 2011). O lançamento do CBERS-3 ocorreu dia 9 de dezembro de 2013, pelo veículo chinês de Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamentos de Satélites de Taiyuan, China, porém houve falha no veículo lançador e o satélite não foi posicionado na órbita prevista, sugerindo que o CBERS-3 tenha retornado ao planeta (INPE, 2013).

Devido ao problema ocorrido, o Brasil e a China anteciparam o lançamento do CBERS 4 para dezembro de 2014. De acordo com o INPE (2018b), o sistema superou a expectativa de vida útil (três anos), apresentando imagens de qualidade que vem sendo empregadas em diversas atividades, como no monitoramento ambiental, no setor agrícola, florestal e de mineração. Para compor a família CBERS, foi lançado em dezembro de 2019, o CBERS 04A (INPE, 2019).

Outro programa de satélites que vem se destacando é o Sentinel, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*), com os satélites: Sentinel 1, Sentinel 2, Sentinel 3, Sentinel 4, Sentinel 5 e Sentinel 5P. Cada satélite é dedicado a observação de uma característica específica da Terra, como, por exemplo, o Sentinel 1 tem como objetivo o monitoramento terrestre e oceânico. Já o Sentinel 4 objetiva o monitoramento da qualidade do ar (ESA, 2020).

### 1.3. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PPGRN) e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecem também ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental (PGGTA), da Universidade Federal de Rondonópolis, Mato Grosso. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao portal de periódicos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq

Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

#### 1.4. Referências Bibliográficas

ENGESAT. Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento. **World View 3**. 2020a. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/world-view-3/>. Acesso em: 16 jul. 2020.

ENGESAT. Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento. **World View 4**. 2020b. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/world-view-4/>. Acesso em: 16 jul. 2020.

ESA. European Space Agency. **Sentinel Overview**. Sentinel Online. 2020. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>. Acesso em: 01 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa CBERS**. 2011. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/index.php>. Acesso em: 01 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Lançamento do CBERS-3**. 2013. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3471](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3471). Acesso em: 01 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS-1, 2 e 2B**. 2018 (a). Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers1-2-2b.php>. Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Satélite sino-brasileiro CBERS-4 supera tempo de vida no espaço**. 2018 (b). Disponível em: [http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4973](http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4973). Acesso em 01 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Satélite CBERS 04A é lançado com sucesso**. 2019. Disponível em: [http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5326](http://www.cbbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5326). Acesso em: 01 jun. 2020.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8**. Landsat Science. 2014. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>. Acesso em: 27 jun. 2020.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat Science**. 2020a. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 9 – Continuing the Legacy – 2021 and beyond**. Landsat Science. 2020b. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/>. Acesso em 01 jun. 2020.

NOVO, E. M. de M. Sensoriamento remoto: **princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010. 387 p.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. sensoriamento remoto **Ambiental Aplicado: Introdução às Geotecnologias**. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2008. 198 p.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MARCATO JR, J.; CATALANI, T. G. T. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2016. 383 p.

PESSI, D. D. 2019. Sensoriamento remoto **com Sensores de Aeronaves Remotamente Pilotadas para Aplicações de Agricultura de Precisão e Gestão Ambiental**. 2019.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2019.

SPOT IMAGE. **The Spot Satellites**. 2015. Disponível em: <http://www.geo-airbusds.com/en/192-the-spot-satellites>. Acesso em: 27 jun. 2020.



# Imagens de Sensoriamento Remoto

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Camila Leonardo Miotto, Thais Gisele Torres Catalani<sup>2</sup>, Dhonatan Diego Pessi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Mestrado em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: [antonio.paranhos@ufms.br](mailto:antonio.paranhos@ufms.br)

Como visto no Capítulo 1, existem diferentes níveis de obtenção de dados a partir de sensoriamento remoto: o nível de laboratório e campo, o nível de aeronave (suborbital) e o nível orbital (satélites) (NOVO, 2010; PESSI, 2019). Neste capítulo serão abordados aspectos referentes às imagens obtidas a partir de satélites (nível orbital) e a partir de aeronaves (nível suborbital).

## 2.1. Imagens de Satélite (Nível Orbital)

As imagens de satélites foram usadas nas últimas décadas para obter uma ampla variedade de informações sobre a superfície da Terra, desde aplicações militares até ao rastreamento de padrões climáticos globais, geologia, atividades tectônicas, vegetação, geomorfologia, correntes e temperaturas oceânicas, flutuações polares no gelo, poluição, arqueologia, biologia, meio ambiente e muitos outros aspectos.

O custo decrescente das imagens comerciais e até mesmo a gratuidade de algumas imagens aliados ao aumento das resoluções e a disponibilização de programas gratuitos para o processamento digital dessas imagens, possibilitaram que todas as pessoas que têm interesse em utilizar e aplicar dados advindos de sensoriamento remoto pudessem ter acesso aos mesmos. Tal fato culminou no aumento das aplicações de imagens de satélite nas mais variadas áreas do conhecimento.

As imagens de satélite, basicamente, são amostras da energia eletromagnética após a sua interação com a atmosfera e com a superfície terrestre. Estas amostras podem ser registradas eletronicamente ou fotograficamente. Uma fotografia tradicional é diferente de uma imagem, pois envolve o filme/película e o processo de revelação fotográfico. A sensibilidade da fotografia depende do tipo de filme utilizado, enquanto a imagem digital já dependerá das características do sensor que a amostrará.

### **2.1.1. Principais Tipos de Satélite**

De acordo com a órbita, os satélites podem ser divididos em geoestacionários e de órbita polar.

#### *2.2.1.1. Geoestacionários*

São satélites que orbitam sobre a linha do Equador, estando a uma distância que permite a visualização de grandes áreas da superfície da Terra em escala continental, em torno de 37.000 km de altitude. O tempo de revolução coincide com o da Terra de tal forma que o satélite sempre amostra a mesma porção da superfície terrestre, dando a ilusão de estar parado sobre este trecho da superfície. Por esse motivo, é possível gerar cenas de uma mesma região em questão de minutos. Exemplos são os satélites meteorológicos e de comunicação.

#### *2.2.1.2. De Órbita Polar e Heliossíncronos*

Os satélites deste tipo circundam o globo terrestre em órbitas quase polares, a maioria em torno dos 700 km de altitude, no sentido nordeste-sudoeste, de modo tal a estar em órbita descendente sobre o lado iluminado do globo e ascendente sobre o escuro.

A maioria dos satélites com sensores eletro-ópticos está sincronizada com o Sol de forma que passam por sobre um mesmo ponto da superfície terrestre em um mesmo horário solar, assim o ângulo de incidência solar (e as sombras) é semelhante para as várias imagens de uma mesma região. Isto é um aspecto importante que deve ser considerado quando se compara imagens de diferentes períodos de um mesmo local.

### **2.2. Espectro Eletromagnético**

Geralmente o sensor capta a radiação eletromagnética emitida pela superfície do alvo em comprimentos de ondas bem específicos.

Toda a matéria acima do zero absoluto (0 K) emite energia eletromagnética e pode ser considerada uma fonte de radiação (NOVO, 1989).

Todos os tipos de cobertura do solo, como afloramentos rochosos, cultivares, florestas, corpos de água, absorvem uma porção específica do espectro eletromagnético, resultando numa “assinatura” distinta de radiação eletromagnética. Certos deste conhecimento, de quais comprimentos de onda são absorvidos por certas feições e a intensidade da refletância, pode-se analisar uma imagem de sensoriamento remoto e se fazer suposições acuradas sobre a cena. De fato, alguns tipos de cobertura do solo têm uma resposta espectral particular, que a distingue dos demais tipos de cobertura, por isso usa-se o termo assinatura espectral.

A energia radiante proveniente do Sol em direção à Terra é chamada de fluxo radiante. A configuração deste fluxo radiante é bastante complexa devido às grandes variações de temperatura que ocorrem na superfície do Sol e pela opacidade de certas regiões da atmosfera terrestre (NOVO, 1989; SCHRADER e POUNCEY, 1997). O espectro de radiação eletromagnética é mostrado na Figura 2.1.

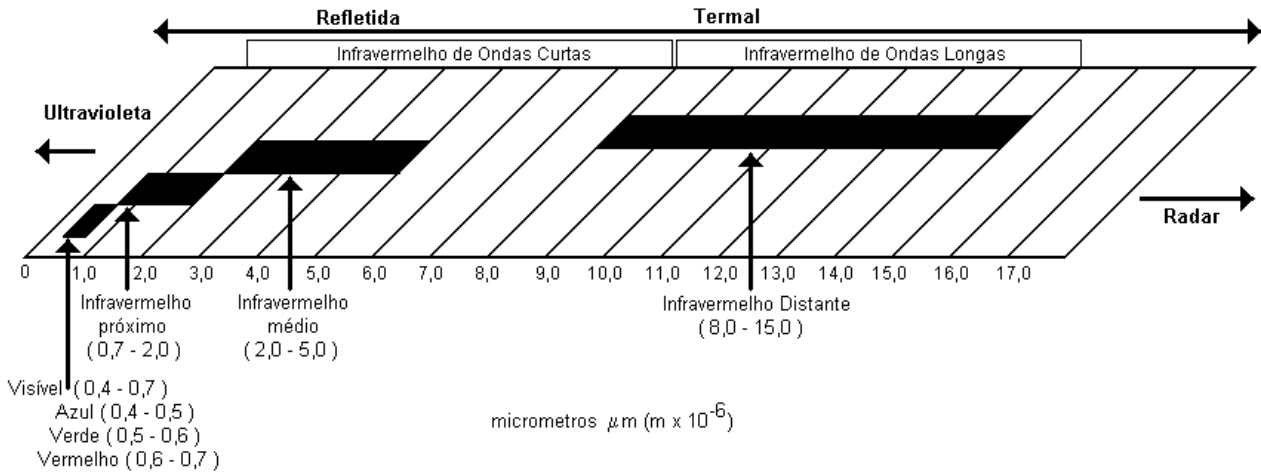


Figura 2.1. Espectro de radiação eletromagnética (SCHRADER e POUNCEY, 1997). A região do infravermelho de ondas curtas é caracterizada por radiação refletida, enquanto a área de ondas longas pela radiação emitida.

Para fins de sensoriamento remoto da superfície terrestre, em geral se admite que a emissão de energia do Sol se assemelha à de um corpo negro com temperatura equivalente a 5900 K (NOVO, 1989 - Figura 2.2). Corpo negro é um corpo hipotético que absorve e irradia toda a energia incidida sobre si, a radiação de um corpo negro é isotrópica e é função apenas de sua temperatura. Este conceito é utilizado para se estudar o processo de radiação (NOVO, 1989; SCHRADER e POUNCEY, 1997).

É possível ainda observar, na Figura 2.2, que o máximo de energia solar disponível ( $E_{\lambda}$ ) se encontra na faixa de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ , conhecida como janela do visível do espectro eletromagnético de ondas.

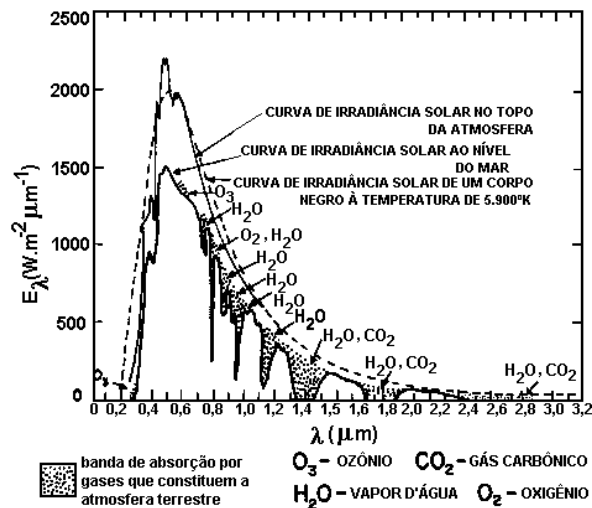


Figura 2.2. Energia radiante do Sol que incide sobre a Terra, para cada comprimento de onda. As três curvas distintas representam a irradiância solar no topo da atmosfera, ao nível do mar e a de um corpo negro a 5900 K (NOVO, 1989).

Existem regiões do espectro luminoso para as quais a atmosfera não permite a passagem da radiação eletromagnética, conhecidas como "bandas de absorção atmosférica". Por outro lado, as "janelas atmosféricas" são as regiões do espectro eletromagnético que permitem a passagem da radiação proveniente do Sol.

Os principais componentes atmosféricos responsáveis pela absorção da radiação solar são o O<sub>3</sub> (ozônio), O<sub>2</sub> (oxigênio), H<sub>2</sub>O (vapor de água) e o CO<sub>2</sub> (gás carbônico) (NOVO, 1989; SCHRADER e POUNCEY, 1997). Estas bandas de absorção atmosférica são levadas em conta para a escolha dos intervalos do espectro eletromagnético que serão amostrados pelos sensores remotos.

Devido à limitação imposta pelas bandas de absorção atmosférica, outras fontes de radiação eletromagnética são utilizadas pelo sensoriamento remoto. A própria Terra produz um espectro de radiação eletromagnética próximo ao de um corpo negro à temperatura de 300 K (NOVO, 1989). A relação entre as fontes de energia, os efeitos atmosféricos e os sistemas de obtenção de dados por sensoriamento remoto é mostrada na Figura 2.3.

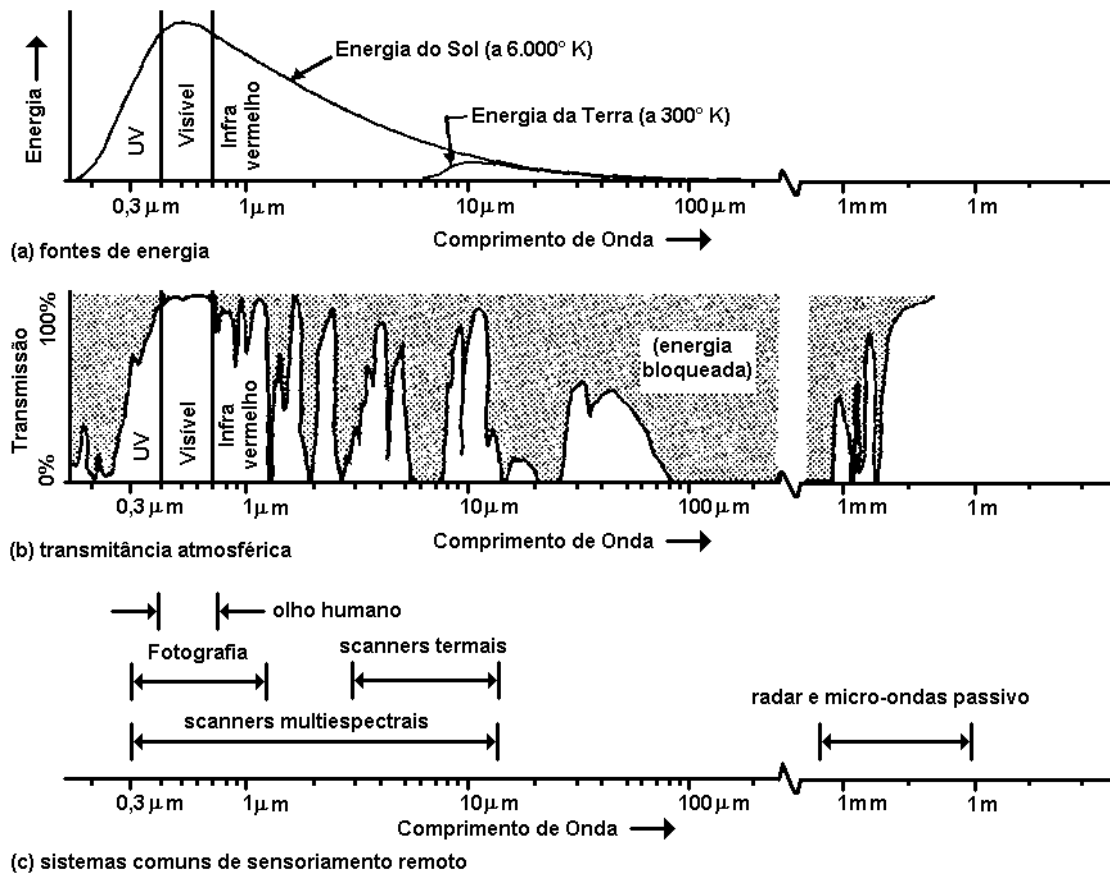


Figura 2.3. Características espectrais: (a) das fontes de energia; (b) dos efeitos atmosféricos e (c) dos sistemas de sensoriamento remoto (observar que a escala do comprimento de onda é logarítmica) (LILLESAND e KIEFER, 1994).

### 2.3.1. Vantagens do Uso de Imagens de Satélite

Embora as fotografias aéreas ainda, talvez, sejam o "estado da arte" para a produção cartográfica de detalhe, o uso de imagens de satélite apresenta vantagens sobre outros tipos de fontes de dados e informações ambientais e geográficas:

**CUSTO:** normalmente o custo por quilômetro quadrado da utilização de imagens de satélite é menor do que o de fotografias aéreas tripuladas ou levantamentos de campo, tendo em vista a

inexistência de levantamentos aerofotogramétricos de âmbito global e sistemático, como ocorre com o imageamento por satélite.

**DISPONIBILIDADE:** além de muitos satélites contarem com um grande número de imagens armazenadas, é relativamente rápido programar a amostragem de uma determinada região obtendo-se uma imagem atualizada. Além disto, os satélites revisitam a mesma área de tempos em tempos, que podem variar de minutos a dias, facilitando o monitoramento de regiões.

**COBERTURA:** os satélites possuem uma cobertura de imageamento praticamente global. Mesmo as regiões de mais difícil acesso, podem ser cobertas por sensoriamento remoto.

**APLICABILIDADE:** existe uma grande variedade de imagens de satélites para os mais diferentes fins, como meio ambiente, agricultura ou clima. Ou ainda, um mesmo tipo de imagem pode ser aplicado em diferentes tipos de estudos ou levantamentos.

**FORMATO DIGITAL:** as imagens provenientes de sensores embarcados em satélites são obtidas digitalmente. Isto implica em não haver necessidade de converter os dados do meio analógico (papel) para o formato digital. Este tipo de digitalização normalmente implica no investimento em tempo e dinheiro.

Com um mínimo de preparação, as imagens em formato digital já se encontram prontas para serem utilizadas por programas de análise e processamento digital de imagens ou para o uso em SIG (sistema de informação geográfica) ou cartografia digital.

Além disso, as imagens obtidas por um mesmo sensor apresentam as mesmas características técnicas, facilitando sua comparação e homogeneizando as técnicas empregadas no seu processamento.

## 2.2. Imagens Aéreas (Nível Suborbital)

A utilização de aeronaves como forma de aquisição de dados ambientais é uma atividade antiga. Nesse sentido, a aerofotogrametria (subdivisão da Fotogrametria, a partir da qual as fotografias são tomadas por uma câmera acoplada a uma aeronave – TOMMASELLI, 2006) é uma técnica bastante disseminada nas geotecnologias e que vem sendo aperfeiçoada e atualizada, principalmente com o advento das aeronaves remotamente pilotadas (RPA).

Alguns conceitos devem ser discutidos. Lillesand et al. (2004) afirmam que, em sensoriamento remoto, o termo fotografia é reservado exclusivamente para imagens que foram detectadas e registradas em filme. O termo imagem é mais amplo e refere-se à representação de dados de imagens obtidos por diferentes sensores. Para os autores então, fotografias também são imagens, porém nem todas as imagens foram obtidas por detecção fotográfica (fotografias). Ainda para estes autores, neste contexto, merece destaque a questão das câmeras fotográficas digitais, pois apesar de não ser um sistema fotográfico no sentido tradicional, o termo fotografia digital já está consagrado.



Esta diferença não é só de terminologia e pode ser relevante quando do processamento das imagens, principalmente em meio digital, pois o método de trabalho e a maneira como a imagem será processada dependem disto. Por exemplo, a escanerização de uma fotografia em papel para ser introduzida em ambiente digital pode ser feita de mais de um modo, seja em formato, número de cores ou em adensamento de pontos. Diferentes processos de digitalização da fotografia conduzirão as imagens com diferentes características.

### 2.2.1. Imagens Aéreas obtidas por Veículo Aéreo

A aerofotogrametria envolve a aquisição de fotografias de uma área usando uma câmera aérea fixada sob o corpo da aeronave. Os instrumentos de aquisição de dados incluem aeronave ou helicóptero, câmera analógica ou câmera digital.

Esse método possui algumas vantagens quando comparado à aquisição de imagens pelos satélites, como por exemplo, a janela de tempo ser mais curta, sendo que as imagens são entregues ao usuário final, sem a necessidade de passar por uma estação de recebimento de imagens e processamento, como é o caso dos satélites (Figura 2.4).

Além disso, a resolução das imagens pode ser superior às imagens de satélite, dependendo do sensor acoplado às aeronaves. Também existe a vantagem de que os voos podem ser realizados abaixo das nuvens, fazendo com que não ocorram problemas relacionados à presença delas, como ocorre com as imagens de satélite.

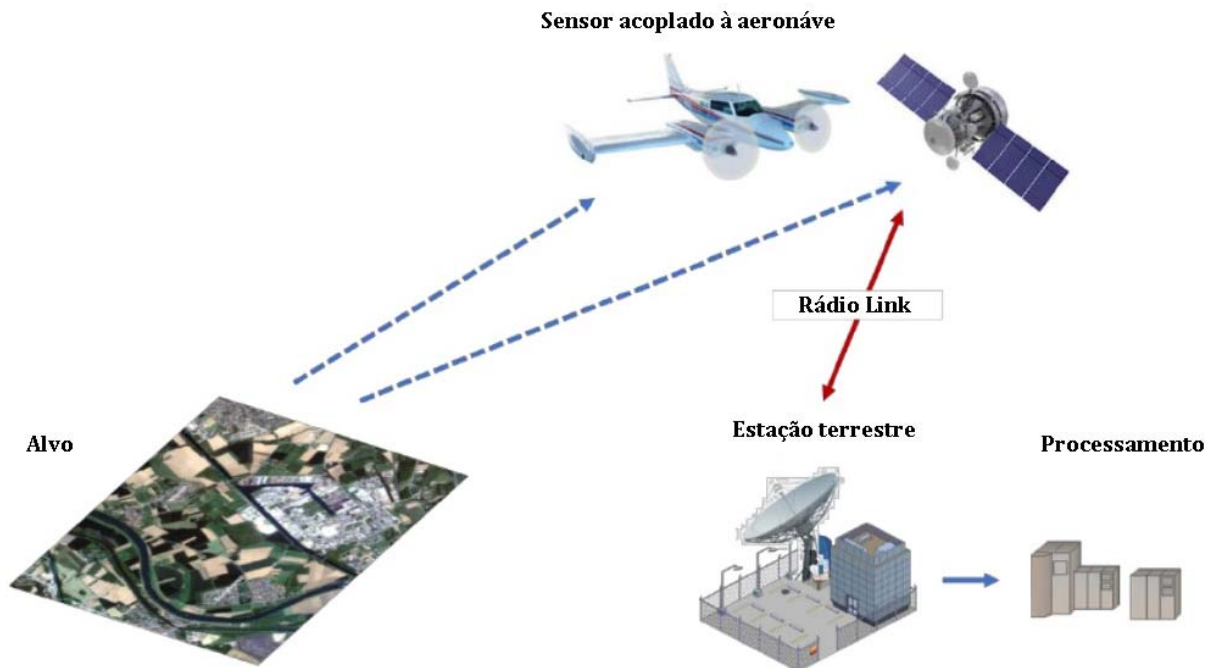


Figura 2.4. Relação de aquisição e processamento das imagens obtidas a partir de aeronaves e satélites (adaptado de GUSTAFSSON e ZUNA, 2017).

Uma revisão de algumas aeronaves que são frequentemente usadas para levantamento aerofotogramétrico é mostrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Característica de alguns modelos de aeronaves que são normalmente usados para missões aéreas de fotogrametria (adaptado de PEPE et al., 2018).

Modelo	Fabricante	Tipo de asa	Velocidade máxima (km/h)	Altitude máxima (m)
TECNAM 2006T	TECNAM	Asa fixa	287	4572
Cessna Caravan	Cessna	Asa fixa	343	4572
PARTNEAVIA P68	Vulcanair	Asa fixa	407	6096
Piper PA-31 Navajo	Piper	Asa fixa	420	7620
Gulfstream-III	Gulfstream	Asa fixa	818	13,716
Learjet 36	Gates Learjet Corporation	Asa fixa	850	13,716
Bell 206L-4	Bell	Asa rotativa	240	3048
Hughes 500E	MD Helicopters	Asa rotativa	250	4236

### 2.3.2. Imagens a partir de Aeronaves Remotamente Pilotada (RPA, Remotely Piloted Aircraft)

As RPAs, a partir dos anos 1990 tiveram amplo uso civil, passando por várias implementações, principalmente a implementação de sensores para o uso comercial, as quais foram inicialmente destinadas a pesquisas de instituições federais e depois ao uso comercial (PESSI et al., 2020). Desde os trabalhos precursores de Smith et al. (1990), ocorreram várias implementações, demonstradas em outros trabalhos (GUTMANN e KONOLIGE, 1999; DISSANAYAKE et al., 2001; GUIVANT e NEBOT, 2001; BOSSE et al., 2003; LIU e THRUN, 2003). Essas modificações contam com uma série de adaptações de sensores, com variedades de forma e tamanho, como o RADIO Detecção e *Ranging* (RADAR), a Detecção de Luz e Alcance (LIDAR) e sensores eletro-ópticos, como câmeras multiespectrais e hiperespectrais. Tais sensores fornecem uma variedade de observações diferentes do terreno, incluindo o alcance e o rumo (PESSI et al., 2020), além de oferecerem alta resolução espacial comparado com imagens de satélite e de outros sensores acoplados aos veículos aéreos convencionais.

Com o passar dos anos, as RPAs tornaram-se mais acessíveis ao mercado e às pesquisas desenvolvidas por diversas instituições. Suas aplicações oferecem grandes oportunidades e fornecem soluções de baixo custo em diversas aplicações, com a possibilidade de aquisição de imagens a qualquer momento (desde que as condições atmosféricas permitam), alta resolução espacial, baixo custo operacional e alta mobilidade, tornando-se uma ótima opção comparada a outros meios convencionalmente usados na aquisição de imagens. Na Tabela 2.2 tem-se a comparação entre as RPAs e outras plataformas de aquisição de imagens.

Tabela 2.2. Comparação de custos e facilidades de operação das RPAs com outras plataformas aéreas tripuladas e satélites (PESSI et al., 2020).

	Resolução Espacial	Campo de Visão	Usabilidade	Capacidade de Carga	Custo para aquisição de dados
RPA	0.5 - 10 cm	50 - 500 m	Muito bom/fácil	Pode ser limitado	Muito baixo
Helicóptero	5 - 50 cm	0.2 - 2 km	Piloto obrigatório	Quase ilimitado	Médio
Avião convencional	0.1 - 2 m	0.5 - 5 km	Piloto obrigatório	Ilimitado	Alto
Satélite	1 - 25 m	10 - 50 km	-	-	Muito alto

## 2.4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 2.5. Referências

BOSSE, M.; NEWMANN, P.; LEONARD, J.; SOIKA, M.; FEITEN, W.; TELLER, S. An Atlas framework for scalable mapping. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, 2., 2003, Taipei. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2003. p. 1899-1906.

DISSANAYAKE, M.; NEWMAN, P.; CLARK, S.; DURRANT-WHYTE, H.; CSORBA, M. A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 17, p. 229-241, 2001.

GUSTAFSSON, H.; ZUNA, L. **Unmanned Aerial Vehicles for Geographic Data Capture: A Review**. 2017. 80 p.

GUTMANN, J.-S.; KONOLIGE, K. Incremental mapping of large cyclic environments. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN ROBOTICS AND AUTOMATION*, 1999, Piscataway. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 1999. p. 318-325.

GUIVANT, J.E.; NEBOT, E.M. Optimization of the simultaneous localization and map-building algorithm for real-time implementation. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 17, p. 242-257, 2001.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 1994. 750 p

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.

LIU, Y.; THRUN, S. Results for outdoor-SLAM using sparse extended information filters. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, 1., 2003, Taipei. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2003. p. 1227-1233.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto Princípio e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1989. 309 p.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010. 387 p.

PEPE, M.; FREGONESE, L.; SCAIONI, M. Planning airborne photogrammetry and remote-sensing missions with modern platforms and sensors. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 412-436, 2018.

PESSI, D. D. 2019. **Sensoriamento Remoto com Sensores de Aeronaves Remotamente Pilotadas para Aplicações de Agricultura de Precisão e Gestão Ambiental**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2019.

PESSI, D. D.; BELIN, R. B.; MIRANDA JUNIOR, P. L.; MATOS DA SILVA, N. Aeronaves remotamente pilotadas e suas aplicações no manejo agrícola e ambiental. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 2, 2020.

SCHRADER, S.; POUNCEY, R. **Erdas Field Guide**. 4. ed. Atlanta: Erdas Inc, 1997. 656 p.

SMITH, M.O.; USTIN, S.L.; ADAMS, J.B.; GILLESPIE, A.R. Vegetation in deserts: I. A regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v. 31, p. 1-26, 1990.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametr**

# Resolução

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Thais Gisele Torres Catalani<sup>2</sup>, José Marcato Junior<sup>3</sup>,  
Dhonatan Diego Pessi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente Pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>4</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: [antonio.paranhos@ufms.br](mailto:antonio.paranhos@ufms.br)

O que difere uma imagem de satélite de outra é o tipo de sensor utilizado na sua obtenção. Existem sensores ativos e passivos. Os sensores mais comuns em satélites são os chamados sensores eletro-óticos e se utilizam, sobretudo, da energia eletromagnética emitida pelo Sol. São chamados de sensores passivos.

Por outro lado, existem os sensores ativos, que emitem um sinal, em geral de radar, correspondente à parte das micro-ondas no espectro eletromagnético e medem a intensidade e outras características do sinal de retorno refletido pela superfície terrestre.

Para se compreender os diferentes tipos de imagens geradas pelos diferentes sensores deve-se conhecer o conceito de resolução. Schrader e Pouncey (1997) citam que o termo resolução é amplo e empregado normalmente para descrever o número de *pixels* que podem ser exibidos em uma tela, ou a área no solo que um *pixel* no arquivo da imagem representa.

## 3.1. Resolução de Imagens de Satélite

São quatro os tipos de resolução envolvendo o uso de imagens de satélite:

- **RESOLUÇÃO ESPECTRAL:** se refere ao intervalo do espectro eletromagnético amostrado.
- **RESOLUÇÃO ESPACIAL:** é o tamanho que o *pixel* da imagem representa sobre o solo.
- **RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA:** é a quantidade de níveis de informação presente na imagem.
- **RESOLUÇÃO TEMPORAL:** é tempo necessário para que o satélite obtenha uma nova imagem do mesmo ponto da superfície terrestre.

Estes conceitos são detalhados a seguir.



### 3.1.1. Resolução Espectral

Refere-se ao intervalo de comprimento de ondas do espectro eletromagnético amostrado. Um sensor espectral de oito bandas (como o Landsat 7 ETM+) mede a energia eletromagnética em oito diferentes comprimentos de onda do espectro (Figura 3.1). A banda 1, que corresponde ao azul do visível, tem resolução espectral de 0,45 a 0,52  $\mu\text{m}$ , mais fina do que a banda pancromática deste mesmo satélite, que grava a radiação eletromagnética com resolução de 0,52 a 0,90  $\mu\text{m}$  (NASA, 2019).

Os sensores que leem respostas espectrais em ao menos quatro intervalos diferentes do espectro eletromagnético chamam-se multiespectrais (a sigla MSS é muito utilizada na literatura para expressar este termo).

Normalmente, o termo banda pancromático ou pan, se refere àquela que compreende parte ou todo o visível e o infravermelho próximo em uma única banda, como 0,52 a 0,90  $\mu\text{m}$  da banda pan do Landsat 7. Esta banda é representada em tons de cinza e, por isso, para alguns autores esta representação em cinza de um intervalo que não possui verdadeiramente a cor cinza, é chamada de pancromática. Assim, por exemplo, uma representação do infravermelho médio em tons de cinza é chamada de representação em pancromático por determinados autores.

O entendimento das diferentes resoluções espectrais é o principal aspecto para o reconhecimento de diferentes tipos de cobertura do solo. A Tabela 3.1 apresenta uma lista de aplicações Landsat TM e ETM+. As aplicações dos diferentes intervalos espectrais podem ser extrapoladas para outros sensores com características equivalentes.

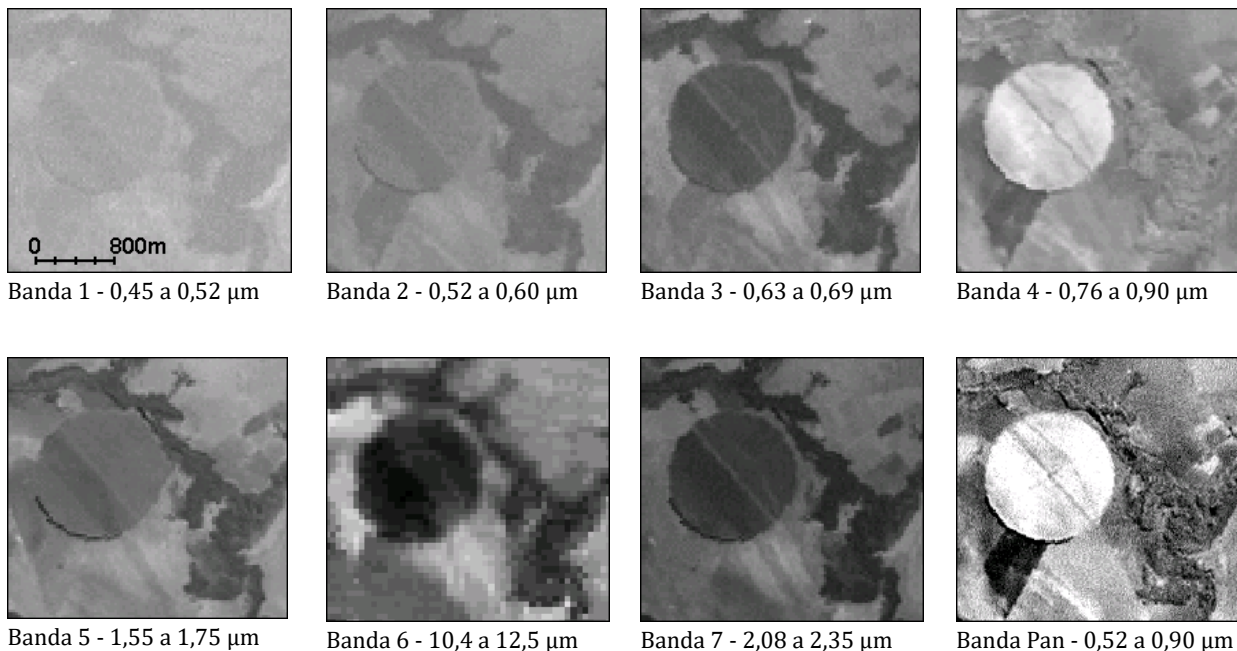


Figura 3.1. A mesma área, um pivô de irrigação, nas diferentes bandas (e resoluções espectrais). As bandas 6 e pan apresentam, além da diferente resolução espectral, diferente resolução espacial (LANDSAT, 2001). Todas as imagens estão na mesma escala e representam a mesma área sobre o solo. As aplicações mais comuns para cada uma destas bandas estão descritas na Tabela 3.1.

## GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

Tabela 3.1. Observar nesta tabela as orientações de aplicação de cada banda Landsat 5 e 7 (USGS, 2003, 2020; Schrader e Pouncey 1997).

BANDA	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) Landsat 5 (L5) e Landsat 7 (L7)	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS DOS SATÉLITES LANDSAT (TM e ETM+)
1	Azul 0,45 - 0,52 (L5 e L7)	Útil para estudos batimétricos, pois possui penetração em corpos de água com elevada transparência. Útil ainda para separar solo exposto (agricultura) e vegetação, além da distinção entre vegetação caducifólia e coníferas. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	Verde L5: 0,52 - 0,60 L7: 0,53 - 0,61	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. Enfatiza picos de vegetação, o que é útil para verificar o vigor das plantas e diferenciar culturas.
3	Vermelho 0,63 - 0,69 (L5 e L7)	Discrimina perfis e espécies de vegetação. A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas com vegetação ou não (solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado e floresta). Permite ainda a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	Infravermelho Próximo L5: 0,76 - 0,90 L7: 0,78 - 0,90	Enfatiza o conteúdo de biomassa e auxilia na determinação de linhas de costa, limites de corpos de água e mapeamento da rede de drenagem, pois os corpos aquosos absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (como o aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	Infravermelho Médio 1,55 - 1,75 (L5 e L7)	Discrimina a umidade em plantas e no solo, servindo para observar o estresse e saúde da vegetação. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. Consegue penetração em finas nuvens.
6	Infravermelho Termal 10,4 - 12,5 (L5 e L7)	Útil para o mapeamento termal e estimativa da umidade do solo. Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. Sua resolução espacial é de 120 m no Landsat 5 e 60 m no Landsat 7.
7	Infravermelho de ondas longas L5: 2,08 - 2,35 L7: 2,09 - 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Útil para o mapeamento de rochas com alteração hidrotermal e depósitos minerais associados. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxila.
Pan	Pancromática L7: 0,52 a 0,90	Disponível apenas no Landsat 7, sua principal característica é a maior resolução espacial (15 m), o que permite o trabalho em uma escala de maior detalhamento do que as outras bandas.

Alguns sensores apresentam resolução espectral tão fina que são chamados hiperespectrais, com bandas geralmente medidas em nanômetros. Alguns exemplos são o AVIRIS (*Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer*) desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) capaz de adquirir espectros praticamente contínuos ao longo da porção do espectro solar refletido (400 a 2500 nm) contendo 224 bandas de 10 nm de largura (SCHRADER e POUNCEY, 1997; CARVALHO JÚNIOR et al., 2003). Ou ainda o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) com 36 bandas, posicionadas nas

faixas espectrais do visível e infravermelho próximo (400 a 2500 nm) e infravermelho termal (8000 a 15000 nm). No final do ano 2000, foi lançado o satélite *Earth Observing-1* com o sensor *Hyperion* (220 bandas), que constitui parte do programa de tecnologias revolucionárias proposto pela NASA para o terceiro milênio (PIZARRO et al., 2001).

A evolução desses sensores aponta para o desenvolvimento e disponibilidade de sensores ultraspectrais, que compartilham da mesma definição dos hiperespectrais, porém com intervalos de comprimento de onda extremamente estreitos, na ordem de 1-2 nm no visível e no infravermelho próximo. Esses sensores terão capacidade de adquirir dados de milhares de bandas espectrais e com eficiência suficiente para reproduzir o comportamento dos alvos (ERBERT, 2001; SOUZA FILHO e CRÓSTA, 2003). Até o momento, não existem sensores desse tipo operacionais (QUARTAROLI et al., 2014).

### 3.1.2. Resolução Espacial

É a dimensão ao solo representada pelo *pixel* da imagem. Por exemplo, a resolução espacial das bandas 1, 2, 3 (visível), 4, 5 e 7 (infravermelho) do Landsat 7 é de 30 m, a banda 6 (6L e 6H - infravermelho termal) é de 60 m e a banda 8 (pancromática) é de 15 m (EMBRAPA, 2014). As Figuras 3.2 e 3.3 mostram bandas diferentes do Landsat, para comparação da resolução espacial.

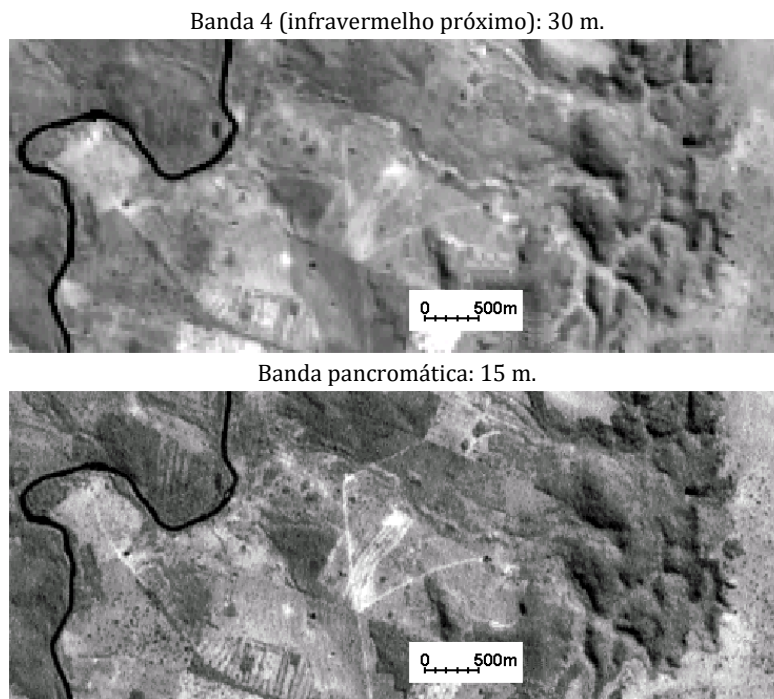


Figura 3.2. Comparação entre a banda 4 (infravermelho próximo) com resolução espacial de 30 m e a banda pan, com resolução espacial de 15 m, do Landsat 7 ETM+ (LANDSAT, 2001). Observar a quantidade de detalhes que a maior resolução espacial permite observar, como o contorno do rio ou os elementos de relevo e cobertura do solo.

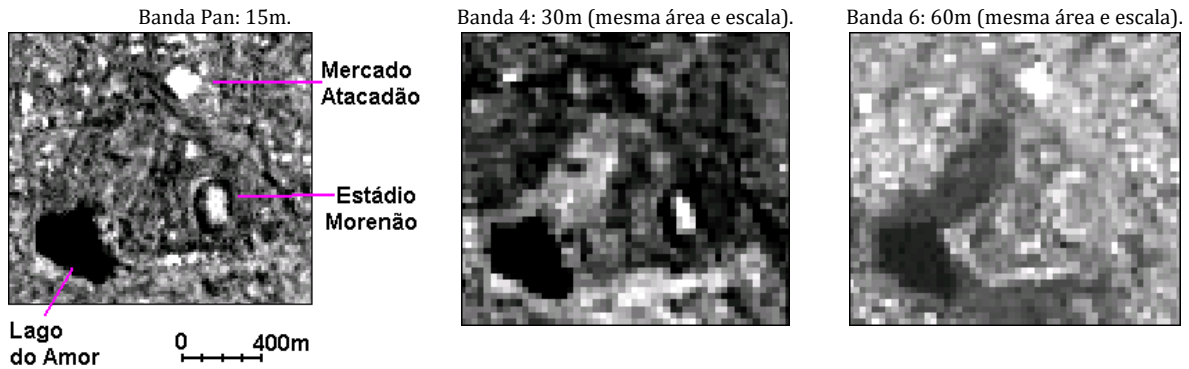


Figura 3.3. Outra comparação entre a banda 4 (infravermelho próximo), banda 6 (infravermelho termal) com resolução espacial de 30 m e a banda pan, com resolução espacial de 15 m do Landsat 7 ETM+ (LANDSAT, 2001), desta vez em uma área urbana, sobre o *Campus* da UFMS, Campo Grande, MS. As áreas amostradas são as mesmas, bem como a escala de impressão.

IFOV - campo de visão instantâneo (*instantaneous field of view*): é a medida da área visualizada por um único detector em um dado instante (SCHRADER e POUNCEY, 1997). Contudo o IFOV do sensor não é sempre a mesma área representada por cada *pixel*. Por exemplo, dados Landsat MSS tem um IFOV de 79 x 79 m, mas existe uma sobreposição de 11,5 m em cada passo do escâner, então a verdadeira área representada por cada *pixel* é 56,5 x 79 m (normalmente arredondada para 57 x 79 m).

IFOV não é o mesmo que resolução espacial. É importante saber em quantos *pixels* é dividido o campo de visão total da imagem. Assim, objetos menores que o tamanho de cada *pixel* podem ser detectados na imagem se eles contrastarem com o fundo, como rodovias e padrões de drenagem, por exemplo. Por outro lado, objetos do mesmo tamanho que o do *pixel* (ou maiores) podem não ser detectados se estiverem próximos a outros mais brilhantes ou dominantes (SCHRADER e POUNCEY, 1997).

Na Figura 3.4 visualiza-se uma casa situada exatamente no centro de quatro *pixels*. Se a casa tiver uma refletância similar às redondezas, os valores de dados para cada um dos *pixels* refletirão a área ao redor da casa, não está em si, desde que a casa não domine nenhum dos *pixels*. Contudo se a casa tiver uma refletância significativamente diferente do seu redor, poderá ser detectada.

Assim, se explica porque uma estrada, mesmo não possuindo largura acima de 20 ou 30 m, pode ser detectada em imagens Landsat (resolução espacial de 30 m) ou em imagens CBERS-1 (resolução espacial de 20 m).

Portanto, não se deve confundir resolução espacial de uma imagem de satélite com o menor objeto identificável nesta imagem. Porém, a dimensão do *pixel* é responsável pela delimitação acurada do alvo que se deseja identificar (Figura 3.5).

Também não se deve confundir o conceito de resolução espacial com o de escala, que é a proporção entre uma distância em uma carta ou mapa e a equivalente distância real no terreno. Este aspecto é mostrado à frente, em um item específico relacionando escala e resolução espacial (Capítulo 5.5 Resolução Espacial e Escala).

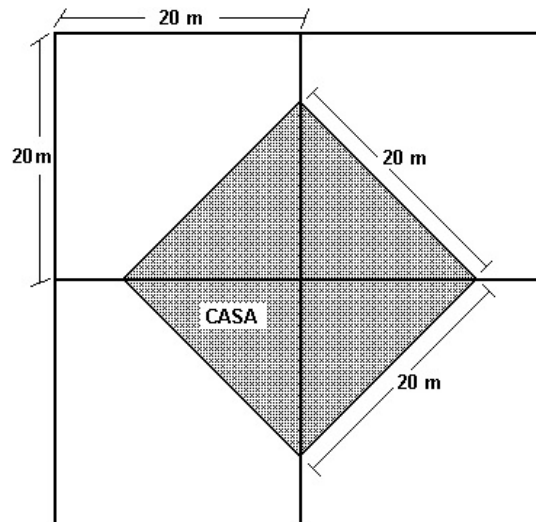


Figura 3.4. Situação hipotética em que uma casa de 20 m x 20 m se encontra exatamente no meio de quatro pixels de 20 m (SCHRADER e POUNCEY, 1997). Se a casa aparecerá ou não na imagem, dependerá da resposta espectral da área em seu entorno.

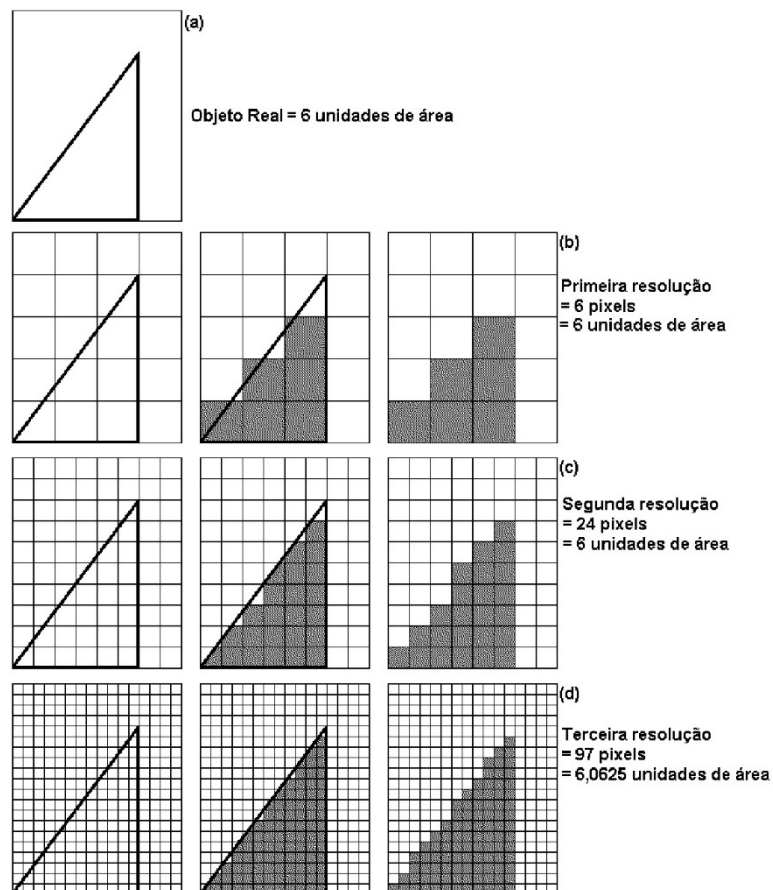


Figura 3.5. Situação hipotética mostrando em (a) um alvo de forma triangular. Em (b) a dimensão do pixel é o dobro de (c) e quatro vezes a de (d). Uma maior resolução espacial permite a obtenção de uma forma mais aproximada da realidade. Os valores de área não sofrem grandes variações. No exemplo, nem os valores de refletância espectral do alvo, nem os da área entorno, "dominam" nenhum dos pixels.

Ainda relacionado ao tamanho do *pixel*, um termo comum na literatura é o "estouro" de *pixel*, que se refere à imagem com um *zoom* tal que permite a individualização dos *pixels* da imagem (Figura 3.6).





Figura 3.6. A figura da esquerda tem uma visualização normal, enquanto a da direita "estourou", ficou "pixelada", ou seja, os pixels que a compõem podem ser individualizados, o que prejudica a interpretação da imagem.

### 3.1.3. Resolução Radiométrica

Resolução radiométrica é a quantidade máxima de níveis de informação em que a imagem pode ser obtida, é a amplitude de valores possíveis para os *digital numbers* (DN) dos *pixels* que compõem a imagem. Por exemplo, de 0 a 255, portanto 256 níveis (Figura 3.7). Este valor é expresso como potência de 2, em *bits* e geralmente é representado em tons de cinza.

Alguns autores usam os termos "profundidade da imagem" ou "amplitude dinâmica" do *digital number* como sinônimos de resolução radiométrica.

Imagens Landsat ETM+ têm resolução radiométrica de 8 *bits* =  $2^8 = 256$  níveis ou valores de brilho e as do Landsat 8 OLI têm 12 *bits* (4.096 níveis) (NASA, 2019, 2020). Já as imagens de alta resolução espacial do IKONOS (1 m no modo pan) e do Quickbird (60 cm, banda pan) possuem resolução radiométrica de 11 *bits*, 2048 possíveis valores para o *digital number* (DIAL e GRODECKI, 2003; DIGITAL GLOBE, 2007). Apesar do olho humano não ser capaz de identificar tantos níveis de cinza, os sistemas especialistas de classificação de imagens de satélite são capazes e as imagens de 11 *bits* fornecem mais informações.

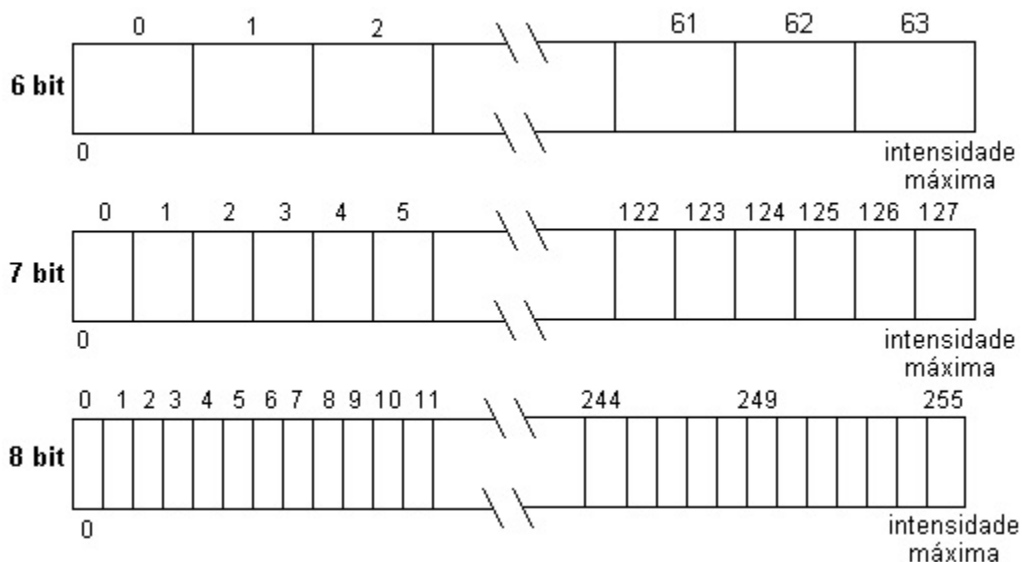


Figura 3.7. Resolução radiométrica 6 *bits* =  $2^6 = 64$  níveis; 7 *bits* =  $2^7 = 128$  níveis e 8 *bits* =  $2^8 = 256$  níveis.

CORREÇÃO RADIOMÉTRICA se refere às correções de variações que não dependem do objeto ou cena amostrada, como problemas no sensor ou inconsistências no sistema de varredura e interferência atmosférica.

Para termos de comparação visual, a Figura 3.8 ilustra uma imagem de uma mesma pessoa com diferentes resoluções radiométricas.

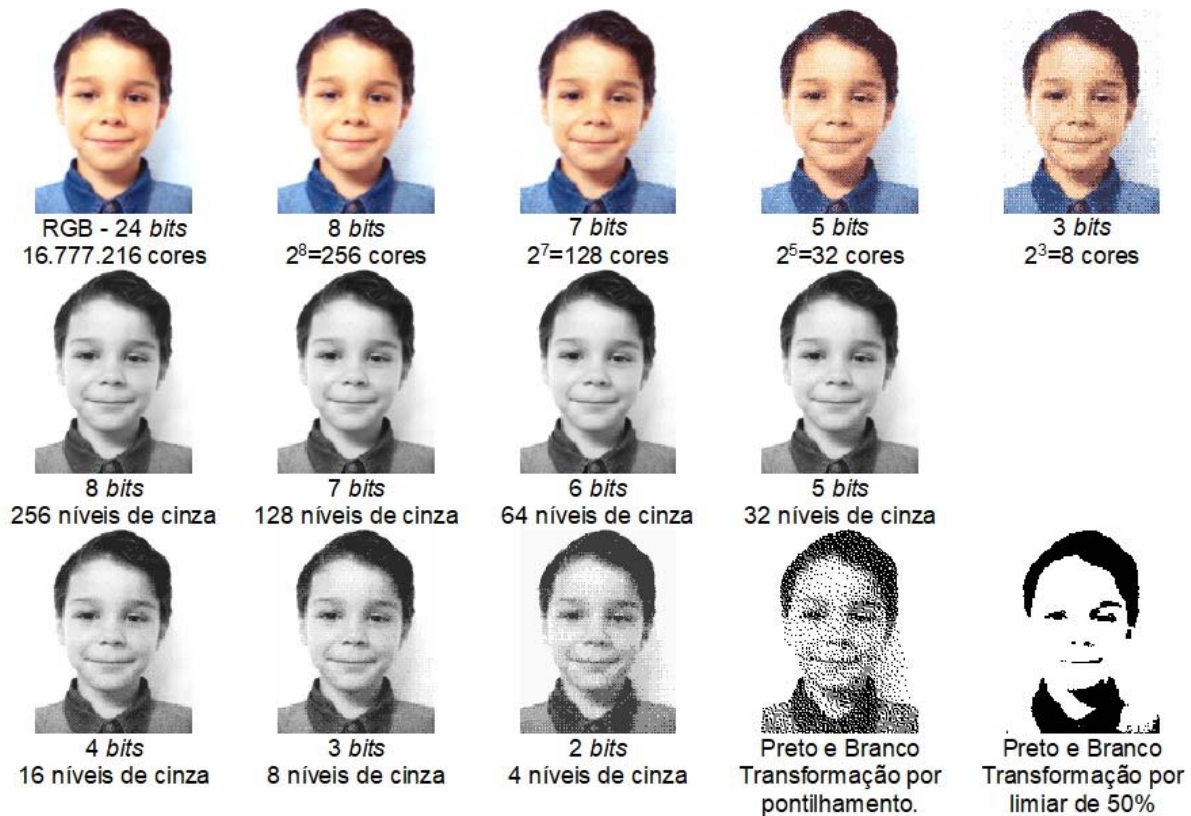


Figura 3.8. Diferentes resoluções radiométricas. Observar que o olho humano muitas vezes não tem percepção suficiente para notar as diferenças entre alguns níveis de resolução radiométrica.

### 3.1.4. Resolução Temporal

Resolução temporal é o intervalo de tempo necessário para que o satélite reamostrasse o mesmo ponto sobre a superfície terrestre. O satélite Landsat 8 revisita uma mesma área a cada 16 dias, enquanto o CBERS a cada 26 dias.

O satélite IKONOS tem resolução temporal de 2,9 dias no modo pancromático e 1,5 dias no modo multiespectral. Esses valores valem para latitudes em torno de 40°. Para latitudes maiores será menor o tempo entre as revisitas e será maior para as latitudes próximas ao Equador.

Os satélites Landsat 5 e 7, ambos com resolução temporal de 16 dias, foram programados de forma que a cada 8 dias se obtivesse uma imagem de um mesmo local: dia 1 Landsat 7, dia 8 Landsat 5, dia 16 Landsat 7, dia 24 Landsat 5 e assim por diante.

A família Spot está disposta em órbita de modo a ser possível se amostrar um determinado ponto da superfície terrestre em intervalos de 1 a 3 dias (EMBRAPA, 2020).

A Figura 3.9 ilustra todos os quatro tipos de resolução de imagens de satélite. E a Tabela 2 apresenta uma comparação das características de resolução dos principais satélites.

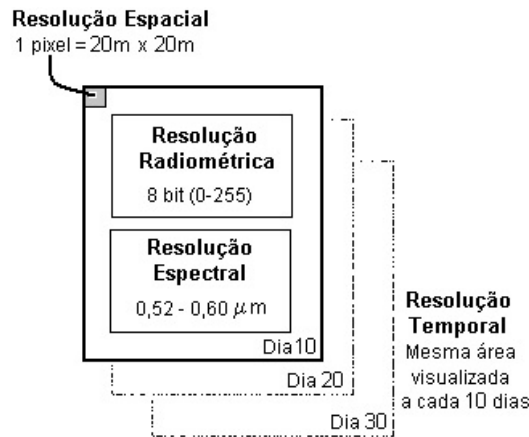


Figura 3.9. Os quatro tipos de resolução para a caracterização de imagens de satélite (modificado de SCHRADER E POUNCEY, 1997).

Tabela 3.2. Comparação das características dos sensores dos principais satélites (ROCHA, 2000; DIAL e GRODECKI, 2003; DIGITAL GLOBE, 2007; NASA, 2013, 2019; SPOT, 2015; USGS, 2020).

Satélite/ Sensor	Lança- mento	Tipo de Sensor	Produto	Resolução Espacial	Faixa Imageada	Resolução Temporal	Estereos- copia
LANDSAT 4 MSS	1982	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	79 m	185 km	16 dias	Não
LANDSAT 5 TM	1984	Óptico/Passivo	7 Bandas Multiespectrais	30 m termal 120 m	185 km	16 dias	Não
LANDSAT 7 ETM+	1999	Óptico/Passivo	7 Bandas Multiespectrais	30 m termal 60 m	185 km	16 dias	Não
			Banda Pancromática	15m	185 km	1 - 4 dias	Não
LANDSAT 8	2013	Óptico/Passivo	11 Bandas Multiespectrais	30 m termais 100 m	185 km	16 dias	Não
			Banda Pancromática	15 m			
SPOT 1/2/3 HRV	1986 1990 1993	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	20 m	60 km	1 - 4 dias	Sim
			Banda Pancromática	10 m	60 km	1 - 4 dias	Sim
SPOT 4 HRVIR	1998	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	20 m	60 km	1 - 4 dias	Não
			Banda Pancromática	10 m	60 km	1 - 4 dias	Não
SPOT 5 HRVIR	2002	Óptico/Passivo	Banda 4 - HI	20 m	60 km	1 - 4 dias	Não
			4 Bandas color	10 m	60 km	1 - 4 dias	Não
			3 Bandas color Banda Pan	5 m	60 km	1 - 4 dias	Sim
			3 Bandas color Banda Pan	2,5 m	60 km	1 - 4 dias	Sim
IKONOS II	1999	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	4 m	11,3 km	3 - 5 dias	Sim
			Banda Pancromática	1 m	11,3 km	3 - 5 dias	Sim
QUICKBIRD	2001	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	2,4 m	22 km	1 - 4 dias	Sim
			Banda Pancromática	0,61 m	16,5 km	1 - 4 dias	Sim

## GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

EROS	2000	Óptico/Passivo	Banda Pancromática	1,8 m	12,5 km	1 - 4 dias	Sim
IRS 1C- 1D/ Liss III	1995 1997	Óptico/Passivo	4 Bandas Multiespectrais	23,5 m	141 km	24 dias	Não
			Banda Pancromática	5,8 m	70 km	5 dias	Sim
RADAR SAT I	1995	Radar/Ativo	Banda C (5,3 Ghz)	8 a 100 m	50 - 500 km	4 - 6 dias	Sim
			Polarização HH				
CBERS 1 e 2 CCD - IRMSS - WFI	2003	Óptico/Passivo	CCD - 5 Bandas Multiespectrais	20 m	120 km	26 dias	Sim
			IRM - 1 B. Pan; 2 B. Infrav. Médio	80 m			
			1 B Infrav. Termal	160 m			
			WFI - 2 B. Vermelho e Infraverm Próx.	260 m	900 km	5 dias	

### 3.2. Geração do Valor do DN – Digital Number

As imagens de satélite são formadas por um conjunto de células dispostas lado a lado como em um tabuleiro de xadrez. Cada uma destas células é chamada de *pixel*, abreviatura de *picture element*.

Na forma de dados digitais, a cada *pixel* é atribuído um valor numérico, chamado de *digital number*, que indica o valor da resposta espectral lida pelo sensor de varredura naquele ponto do alvo.

Lillesand et al. (2004) explicam que a atmosfera interfere no processo da medição da radiância medida nos diferentes *pixels* que compõem a imagem, pois primeiramente tem um efeito de atenuação da energia que chega aos objetos sobre o solo e, secundariamente, atua como um refletor, causando um efeito de dispersão que interfere nas medições do sensor remoto, causando um efeito de embaçamento e redução do contraste da imagem. Assim, o sinal obtido em cada *pixel* é expresso por:

$$L_{\text{tot}} = \frac{\rho E T}{\pi} + L_p \quad (\text{LILLESAND et al., 2004})$$

Onde:

$L_{\text{tot}}$  = o total de radiância espectral medida pelo sensor.

$\rho$  = refletância do objeto.

$E$  = irradiância no objeto.

$T$  = taxa de transmissão da atmosfera.

$L_p$  = radiância de dispersão (efeito embaçamento).

Todos estes valores são dependentes do comprimento de onda analisado.

Por sua vez, a relação entre o valor do *digital number* e a resposta espectral, para uma determinada banda, é dada pela equação:

$$\text{DN} = G L + B \quad (\text{LILLESAND et al., 2004})$$

Onde:

DN = valor do *digital number* registrado.

$G$  = efeito de ganho da banda (função da curva de resposta radiométrica).

$L$  = radiância espectral medida (sobre o intervalo espectral da banda).

$B$  = efeito de redução da banda (também dependente da função de resposta radiométrica).

Desconsiderando a interferência atmosférica e outros fatores que interferem na captura da imagem, pode-se resumir a forma como uma imagem é produzida, para facilitar a compreensão. Assim o modo como o sistema determina o valor do *digital number* leva em conta ainda a resolução espacial e o IFOV do sensor, que determinam o tamanho do *pixel*. O sensor efetua a leitura e registra o valor da resposta espectral para cada ponto amostrado, que na realidade é uma área determinada pelo tamanho do *pixel* (Figura 3.10). A amplitude deste valor dependerá da resolução radiométrica. Quando as imagens são impressas ou exibidas na tela o *digital number* pode ser representado por uma cor ou matiz de cinza.

É importante mencionar que o valor do *digital number* se refere a toda área coberta pelo *pixel*. Isto é importante na escolha da escala de visualização da imagem para fotointerpretação, pois não é correto "dividir" o *pixel*, durante o processo de classificação manual ou vetorialização de elementos.

O valor do *digital number* pode ser relevante dependendo do tipo de estudo ou processamento a ser efetuado na imagem. Assim o usuário deve estar atento se a operação que será executada sobre a imagem alterará, ou não, e de que forma, o valor do *digital number* dos *pixels*. Exemplos deste tipo de operação são filtragens ou realces e dependem do programa em uso.

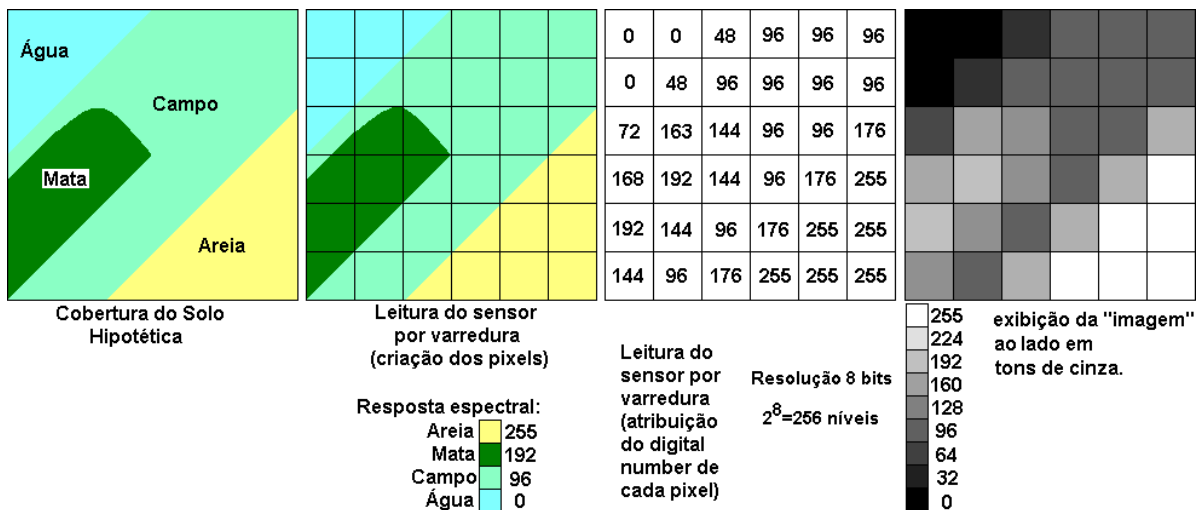


Figura 3.10. Esquema mostrando a geração do *digital number* do *pixel* (os valores numéricos do terceiro quadro são ilustrativos e supõem que nenhuma das superfícies "dominará" aquele *pixel*).

### 3.3. Um Sistema de Sensoriamento Remoto Ideal

Lillesand et al. (2004) encontraram uma maneira interessante de explicar os fatores que interferem na obtenção de uma imagem de sensoriamento remoto: explicar como seria um sistema ideal, hipotético, para esta obtenção (Figura 3.11). Em seguida explicam como são os sistemas reais, esta comparação está descrita na Tabela 3.3.



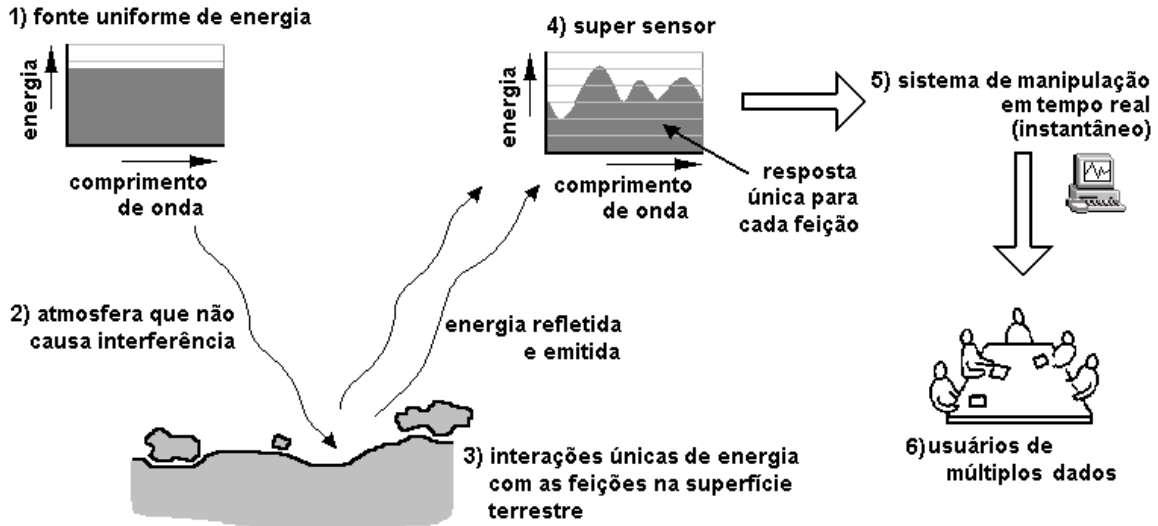


Figura 3.11. Componentes de um sistema de sensoriamento remoto ideal (adaptado de LILLESAND et al., 2004).

Tabela 3.3. Comparação entre as características de um sistema de sensoriamento remoto ideal (hipotético - na coluna da esquerda) e as dos sistemas reais (na coluna da direita) (LILLESAND et al., 2004).

SISTEMA REMOTO IDEAL	SISTEMAS REMOTOS REAIS
<p><b>1. UMA FONTE DE ENERGIA UNIFORME.</b> Esta fonte forneceria energia em comprimentos de onda, de forma constante, conhecida, com alta intensidade de emissão e independentemente do tempo ou lugar.</p>	<p><b>1. A FONTE DE ENERGIA.</b> Todos os sistemas de sensores remotos passivos se utilizam da energia que é refletida ou emitida por feições da superfície terrestre. A distribuição espectral da luz solar refletida e da energia emitida é longe de ser uniforme. Os níveis de energia solar variam com o tempo e lugar e os diferentes materiais da superfície terrestre emitem energia com variados graus de eficiência. Embora exista algum controle sobre a natureza da fonte de energia dos sensores ativos, nos sistemas reais estas fontes são, geralmente, não uniformes em relação ao comprimento de onda e suas propriedades variam com o tempo e o lugar. Assim, normalmente, as fontes de energia devem ser calibradas para sua utilização.</p>
<p><b>2. UMA ATMOSFERA QUE NÃO INTERFERE.</b> Seria uma atmosfera que não modificasse a energia emitida pela fonte em nenhum modo, seja quando vai na direção da superfície terrestre, como quando retorna ao sensor. Novamente, independentemente do comprimento de onda, tempo, lugar ou altitude amostrada.</p>	<p><b>2. A ATMOSFERA.</b> A atmosfera, normalmente, é uma das componentes dos problemas com variações de energia. De certo modo, a atmosfera sempre modifica a intensidade e distribuição espectral da energia recebida pelo sensor. Isto limita o que pode ser espectralmente identificado e seus efeitos variam com o comprimento de onda, com o tempo e lugar. Estes efeitos, como variações na fonte, são uma função dos comprimentos de ondas envolvidos, o sensor utilizado e o tipo de aplicação. A eliminação ou compensação dos efeitos atmosféricos é particularmente importante naquelas aplicações onde são feitas observações repetitivas da mesma área geográfica envolvida.</p>
<p><b>3. UMA SÉRIE DE INTERAÇÕES ÚNICAS ENTRE MATÉRIA E ENERGIA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE.</b> Estas interações gerariam sinais emitidos e/ou refletidos que não só seriam seletivos em relação ao comprimento de onda, mas também conhecidos, invariáveis e únicos para</p>	<p><b>3. AS INTERAÇÕES ENTRE MATÉRIA E ENERGIA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE.</b> O sensoriamento remoto seria simples se cada material refletisse e/ou emitisse em uma única maneira conhecida. Contudo os padrões de resposta espectral (assinaturas</p>

<p>cada (e todos) tipo de feição e subfeição da superfície terrestre.</p>	<p>espectrais) são o principal fator na detecção, identificação e análise dos materiais da superfície terrestre.</p> <p>O ambiente da identificação espectral é repleto de ambiguidades, materiais radicalmente diferentes podem ter grandes similaridades espectrais, dificultando a sua diferenciação.</p> <p>Além disto, a compreensão das interações entre matéria e energia para feições da superfície terrestre ainda está num estágio básico para alguns elementos e mesmo inexistente para outros.</p>
<p><b>4. UM SUPER SENSOR.</b></p> <p>Este sensor seria altamente sensível a todos os comprimentos de onda, alcançando dados espaciais e espectrais detalhados de uma cena.</p> <p>O supersensor seria ainda simples e confiável, virtualmente não demandaria fonte de alimentação ou espaço e seria ainda acurado e econômico ao operar.</p>	<p><b>4. O SENSOR REAL.</b></p> <p>O sensor ideal não existe. Nenhum sensor isolado é capaz de detectar todos os comprimentos de onda e todos os sensores possuem limites definidos da sua sensibilidade espectral.</p> <p>Os sensores também possuem um limite sobre o menor objeto identificável pelo sensor e a capacidade de separá-lo dos objetos que o circundam, este limite é dado pela resolução espacial do sensor que indica o quanto um sensor pode identificar de detalhes espaciais.</p> <p>A Figura III.12, no contexto de imagens digitais, mostra a relação entre a resolução espacial de um sensor e a variabilidade presente no solo:</p> <p>Em (a) um único pixel cobre apenas uma pequena área (uma linha de cultivo de uma lavoura).</p> <p>Em (b) uma resolução mais grosseira é mostrada e o pixel agora integra a radiância das linhas de plantio e o solo exposto entre elas.</p> <p>Em (c) uma resolução ainda mais grosseira resulta em um pixel medindo a radiância média sobre porções dos dois campos agrícolas.</p> <p>Assim, dependendo da resolução espacial do sensor e da estrutura espacial da superfície sendo imageada, as imagens podem compreender uma gama de pixel “puros” e “mistos”. Em geral, quanto maior a quantidade de pixels mistos, mais limitada será a habilidade em se extrair detalhes espaciais em uma imagem.</p> <p>A Figura 3.3 (Capítulo 3.1.2 - Resolução Espacial) mostra esta situação, quando uma mesma área foi imageada em diferentes resoluções espaciais.</p> <p>A escolha do sensor adequado envolve ganhos e perdas. Por exemplo, os sistemas fotográficos em geral possuem resoluções espaciais muito boas, porém perdem na sensibilidade espectral para os sistemas multiespectrais digitais, que por sua vez, normalmente, possuem uma resolução espacial mais pobre que a dos sistemas fotográficos.</p> <p>Além disto, existe o custo envolvido na aquisição, bem como eventuais limitações de operação dos equipamentos em condições específicas.</p>
<p><b>5. UM SISTEMA DE FORNECIMENTO DE PROCESSAMENTO DE DADOS EM TEMPO REAL.</b></p> <p>Neste sistema, no instante em que a resposta radiância versus comprimento de onda de um elemento no terreno fosse gerada, seria transmitida ao solo, geométrica e radiometricamente corrigida e processada para um formato prontamente interpretável. Cada dado observado seria reconhecido como o único para o tipo de elemento do</p>	<p><b>5. O PROCESSAMENTO DE DADOS E O SISTEMA DE FORNECIMENTO.</b></p> <p>A atual capacidade dos sensores remotos em gerar dados supera largamente a capacidade de manipular estes dados e isto vale, geralmente, tanto para a fotointerpretação manual como análise digital. Normalmente, processar os dados do sensor para um formato interpretável é um processo que envolve recursos como hardware, tempo, experiência e dados de referência. Muitos usuários</p>

<p>terreno que o originou. Este processo deveria ser realizado em tempo-real, fornecendo informações atualizadas. Devido à natureza consistente das relações energia-matéria, não haveria necessidade de dados de referência no processo de análise. Os dados obtidos forneceriam uma profunda compreensão do estado físico-químico-biológico de cada feição de interesse.</p>	<p>gostariam de receber as imagens imediatamente após sua aquisição pelo sensor, como em aplicações agrícolas ou análise de desastres. Infelizmente, muitas das fontes de dados de sensoriamento remoto são incapazes de fornecer dados sobre as áreas exatas, nos períodos de interesse que são necessários pelos usuários.</p>
<p><b>6. USUÁRIOS DE DADOS MÚLTIPLOS.</b> Este pessoal seria especialista tanto em sua área como em técnicas de aquisição e análise de dados de sensoriamento remoto. Assim o mesmo conjunto de dados forneceria várias formas de informações para diferentes usuários, devido a sua carga de conhecimento sobre áreas particulares dos recursos terrestres amostrados. Estas informações deveriam estar disponíveis de modo mais rápido, menos custoso e sobre áreas maiores do que informações coletadas por outros meios. Com estas informações os vários usuários poderiam decidir a melhor forma de gerenciar os recursos terrestres.</p>	<p><b>6. USUÁRIOS DE DADOS MÚLTIPLOS.</b> O eixo principal para o sucesso do sensoriamento remoto é a pessoa (ou pessoas) que utilizam os dados obtidos pelo sensor remoto, os quais devem se tornar informações e para isto deve-se entender como estes dados são gerados, como interpretá-los e como melhor utilizá-los. <i>“Uma completa compreensão do problema que se apresenta é a melhor maneira para produzir aplicações de qualquer metodologia de sensoriamento remoto. Também, nenhuma combinação simples de aquisição de dados e procedimentos de análise satisfará as necessidades de todos os usuários”.</i></p>

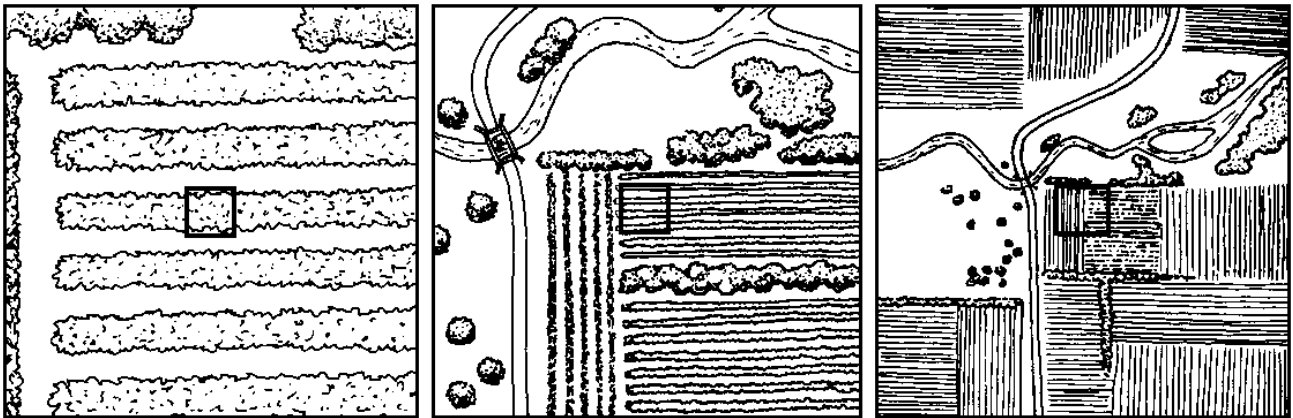


Figura 3.12. Efeito do tamanho de resolução da célula ao solo: (a) pequeno; (b) intermediário e (c) grande tamanho de resolução da célula ao solo (LILLESAND et al., 2004).

Lillesand et al. (2004), ainda neste tema, concluem que a interpretação de fotografias aéreas tem sido utilizada como uma ferramenta prática para gerenciamento de recursos por praticamente um século. Atualmente, as imagens de satélite e as imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) vem substituindo as fotografias aéreas obtidas de forma convencional, facilitando a aquisição de dados e aumentando o número de usuários do sensoriamento remoto. Como resultado disto, o sensoriamento remoto está se tornando uma ferramenta essencial em muitos aspectos da ciência, administração pública e negócios.

### 3.4. Composição Falsa-Cor

As imagens coloridas compõem-se de três bandas ou canais. A luz visível, as imagens que o ser humano enxerga a olho nu, é composta de três bandas (RGB), o vermelho (R - Red - 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), o verde (G - Green - 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ ) e o azul (B - Blue - 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ) (Figura 3.13).

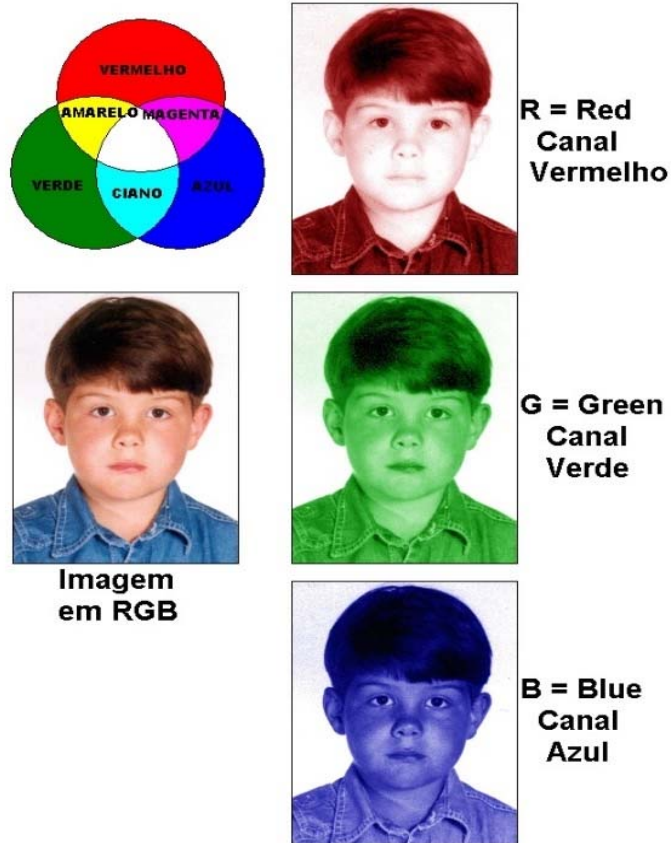


Figura 3.13. Cores de luz primárias. A partir da combinação de vermelho, verde e azul são obtidas todas as cores do visível. O branco é representado por 100% de intensidade das três cores. O preto em zero, a mesma proporção das três cores gera o cinza.

Porém, para facilitar a fotointerpretação das imagens, muitas vezes o operador do sistema com base principalmente em sua experiência (Figura 3.14), combina as bandas de maneira diferente, por exemplo, R - infravermelho próximo, G - infravermelho médio e B - visível azul. O resultado é uma imagem colorida, mas com cores diferentes das reais, daí o nome composição falsa-cor (FCC - *False Color Composite*). Apesar das cores resultantes nestas composições serem diferentes daquelas do visível, este artifício permite que se tornem visualizáveis e interpretáveis faixas do espectro eletromagnético que não são visíveis ao olho humano, adicionando assim informações que facilitarão ao fotointérprete e ao sistema a individualização de diferentes alvos na superfície.



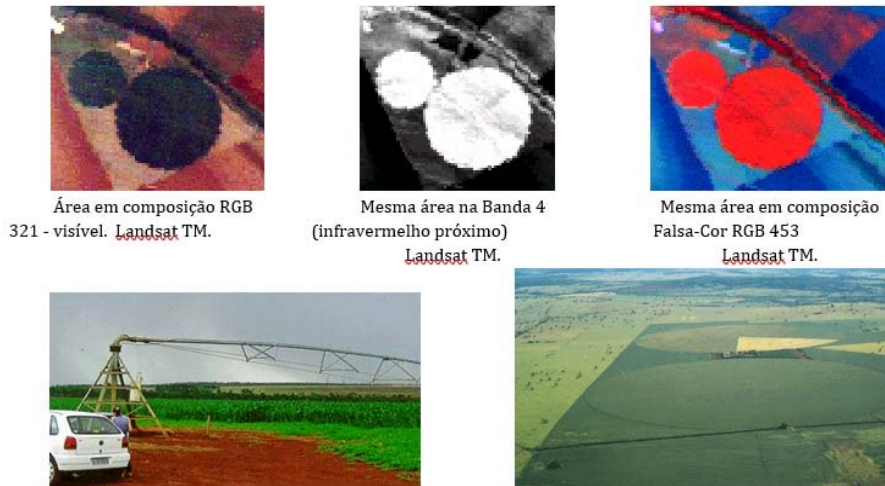


Figura 3.14. Comparação entre as resoluções espectrais de uma mesma área, em imagens mostrando composição em cores reais e em falsa-cor e a área no terreno. *Pivot* de irrigação próximo a São Gabriel do Oeste, MS.

Embora diferentes combinações falsa-cor possam fornecer diferentes informações, não existe necessariamente uma combinação falsa-cor melhor do que outra. A questão é determinar qual a melhor combinação para se identificar o tipo de alvo desejado. Assim, é muito importante conhecer o comportamento espectral de cada banda que será utilizada para saber quais são as capacidades e limitações do sensor. Por exemplo, a Figura 15 mostra que as bandas do infravermelho por terem um maior comprimento de onda (ver Capítulo 2, Figura 1), são menos afetadas pela interferência atmosférica, nesse caso pela presença de uma fina camada de nuvens.

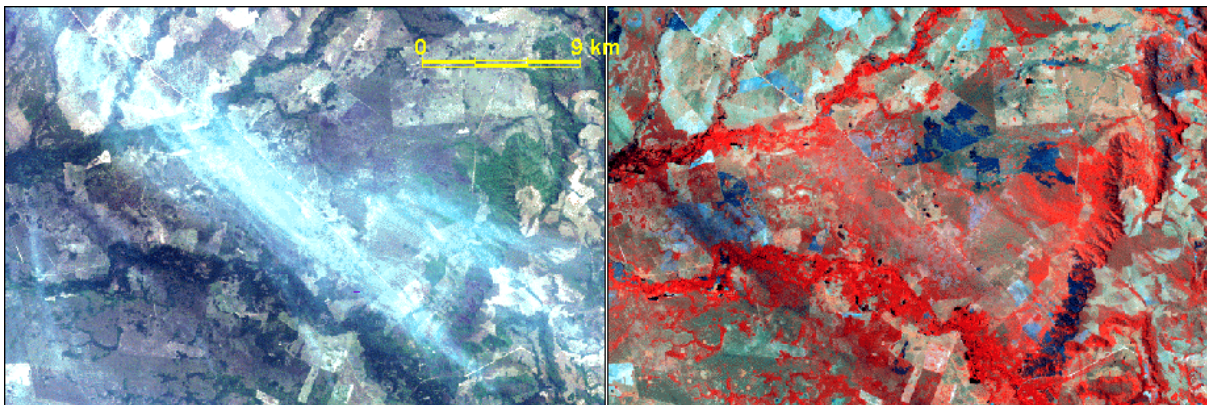


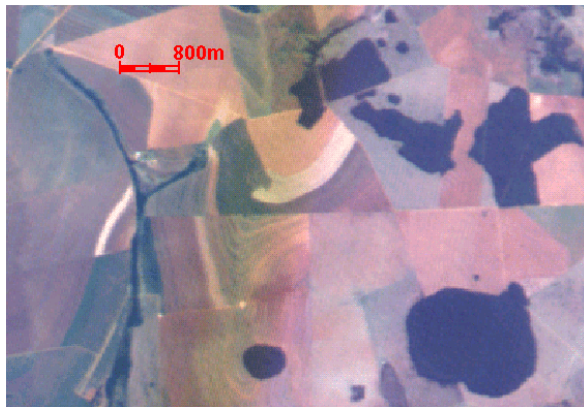
Figura 3.15. Imagem Landsat 5 (LANDSAT, 1996) mostrando a comparação da influência de uma fina camada de nuvens entre as composições RGB 321 (visível - à esquerda) e FCC/RGB 457 (infravermelho - à direita). A nebulosidade que aparece no visível não impede a identificação do tipo de cobertura dos solos no infravermelho.

Lillesand et al. (2004) sugerem que a utilização da combinação Landsat MSS 7, 5, 4, em R, G, B simula as cores obtidas em fotografias infravermelhas. Para Crósta (1992), além desta, a combinação Landsat TM 4, 3, 2, em R, G, B teria o mesmo efeito e a utilização destas combinações teria origem na 2ª Guerra Mundial, quando os filmes coloridos infravermelhos foram desenvolvidos para distinguir a camuflagem da vegetação verdadeira.

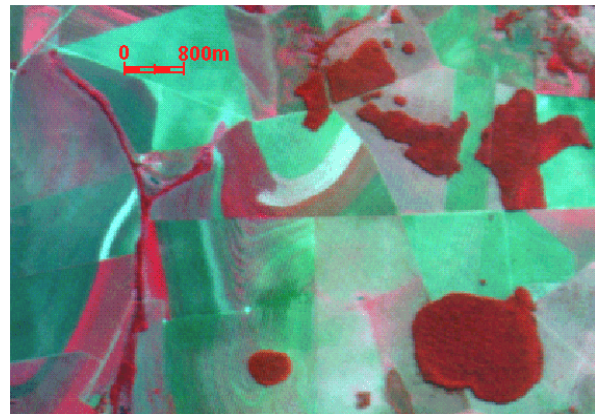
Deste modo, observando a semelhança entre a resolução espectral dos sensores Landsat TM e ETM+, a combinação 4, 3, 2, em R, G, B teria o mesmo efeito no sensor ETM+. No caso das imagens do sensor CCD do satélite CBERS-1 e 2 um efeito parecido é obtido com a composição falsa-cor RGB 4, 3, 2 (Figura 3.16).

Porém, Crósta (1992) afirma que não se deve aceitar "receitas" prontas para se obter determinadas cores para os alvos a serem analisados.

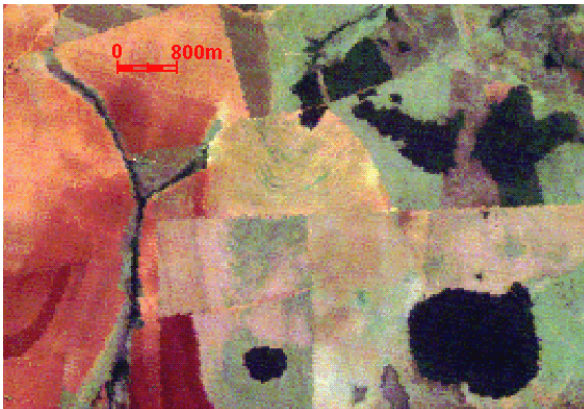
Neste contexto, o conhecimento da aplicação de cada banda (ver Tabela 3.1, no Item 3.1.1. - Resolução Espectral), o controle de campo e a experiência do fotointérprete devem nortear esta escolha. A substituição de uma banda por outra, ou a inversão da ordem das bandas podem mostrar feições diferentes, não necessariamente observáveis em todas as combinações (Figura 3.17). Cabe lembrar ainda que cada fotointérprete faz esta escolha principalmente pela sua experiência, o que representa um forte caráter subjetivo na escolha da melhor composição para desenvolver o trabalho desejado.



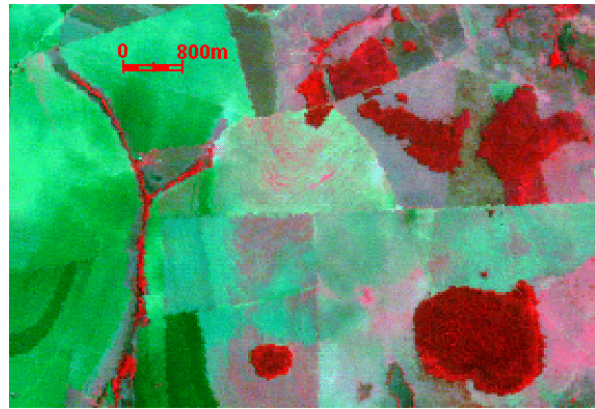
CBERS-1, RGB 321, visível



CBERS, RGB 432



Landsat, RGB 321, visível



Landsat, RGB 432

Figura 3.16. Comparação de imagens Landsat 5 (LANDSAT, 2001) e CBERS-1 (INPE, 2004) de um mesmo local e nas mesmas combinações. Os resultados são equivalentes e provavelmente conduziriam ao mesmo tipo de interpretação. As pequenas mudanças observadas no tipo de cobertura do solo se referem à diferença na data de obtenção das imagens.



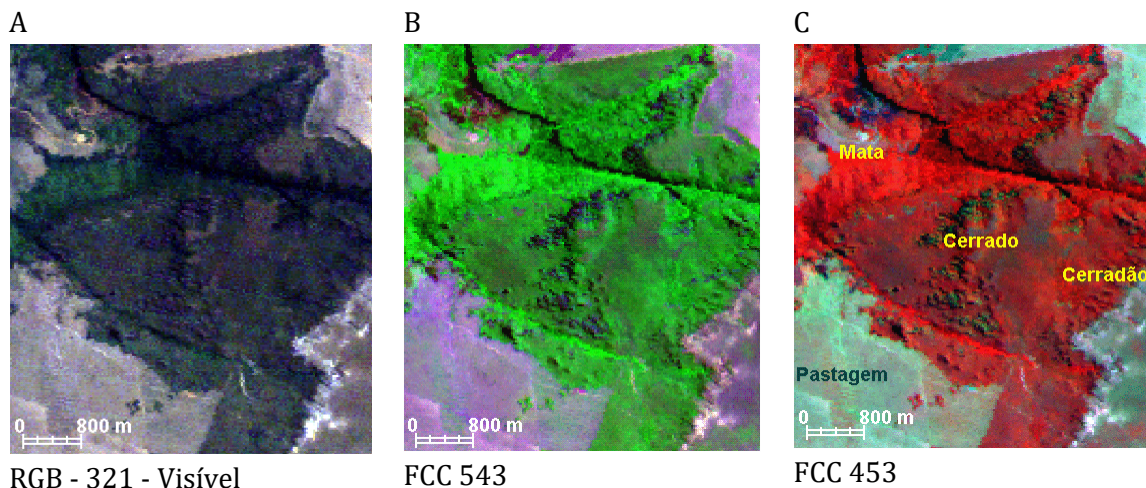


Figura 3.17. Imagem Landsat 5 (LANDSAT, 1996) de uma área de Cerrado e Mata, mostrando a comparação entre as composições RGB 321 (visível - A) e FCC/RGB 543 e 453, todas com o mesmo nível de contraste. Na imagem do visível é mais difícil se perceber as diferenças nos tipos da vegetação que é exibida na composição 453 (à direita, C). Deve-se observar também que as imagens em B e C têm as mesmas bandas, foi trocada apenas a sua ordem na composição.

### 3.5. Realce da Imagem – Enhancement

Com o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem, para facilitar os trabalhos de interpretação sobre ela, pode-se fazer um realce de imagem. O realce pode tornar feições das imagens brutas mais fáceis de serem visualizadas pelo olho humano, sem, contudo, perder os dados do arcabouço radiométrico neste processo.

Embora seja um procedimento que possa ser considerado de simples execução em programa de processamento digital de imagens de satélite, para Novo (1989), o realce é mais utilizado que a classificação para obtenção de informações úteis das imagens.

O tipo de realce a ser executado depende principalmente do objetivo do usuário e sua experiência também interfere, pois muitas vezes é comum observar usuários num processo de “tentativa e erro” para alcançar suas expectativas no realce de imagens. Naturalmente o tipo de imagem a ser processada deve ser considerado na escolha do tipo de realce a ser aplicado.

Pode-se ter realces radiométricos, espaciais e espectrais, explicados a seguir.

#### 3.5.1. Realce Radiométrico

Neste tipo de artifício as imagens são realçadas com base nos valores de cada *pixel* individualmente. São exemplos deste tipo de realce as operações de contraste e redução de ruídos.

**CONTRASTE:** com o objetivo de melhorar a visualização de detalhe, é aconselhável que o conjunto de dados possa utilizar toda a amplitude possível, em níveis de cinza, para exibir a imagem no monitor (Figura 3.18). Esta operação melhora a capacidade de interpretação visual da imagem, pois aumenta o contraste entre os tons de cinza existentes na imagem. O realce ou contraste espectral é feito por *default* (padrão) pela maioria dos editores de imagens de satélite.

A distribuição dos níveis de cor é recalculada estatisticamente de modo a possuir uma maior distribuição das frequências dos níveis de cinza.

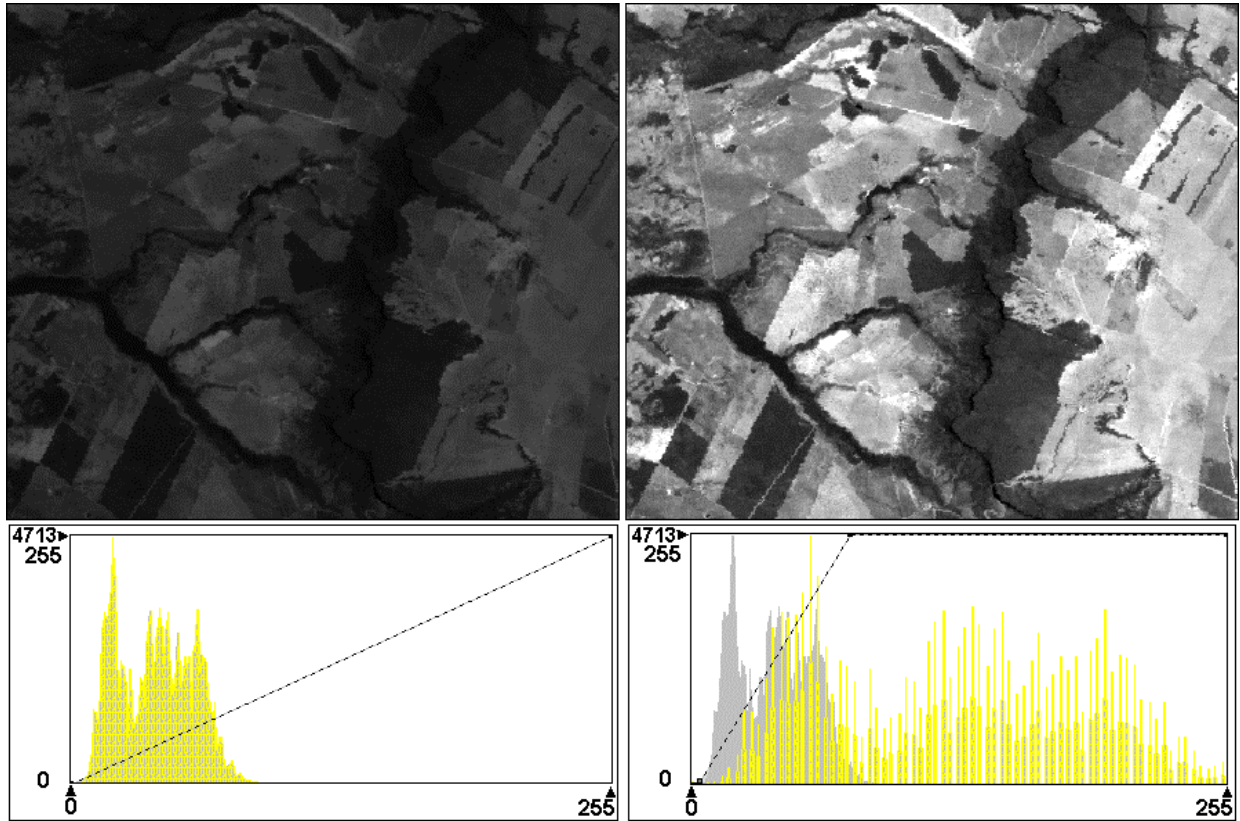


Figura 3.18. A imagem à esquerda não possui o contraste do seu histograma de frequência, enquanto a da direita sim. Embora sejam visualmente diferentes, as informações do arcabouço radiométrico (o valor dos *digital numbers*) foram mantidas (PARANHOS FILHO, 2000).

Existe mais de um modo de efetuar este contraste. Este procedimento é feito de modo a realçar as feições que o usuário deseja individualizar. As Figuras 3.19 e 3.20 mostram graficamente o efeito de contraste de alguns algoritmos, que devem ser escolhidos pelo usuário do programa de processamento de imagens.

A Figura 3.19 mostra graficamente como o algoritmo gera o contraste. Deve-se observar que os valores para os *digital numbers* originais (DN) e contrastados (DN') devem ser inteiros. Geralmente o sistema calcula todos os valores possíveis dos novos DN antes de processar a imagem e os valores de DN' são armazenados em uma tabela. Para processar a imagem nenhum cálculo adicional é necessário. Esta tabela, chamada de LUT (*lookup table* - tabela de aparência) possui os valores de DN' para cada DN e representa vantagens computacionais para o sistema no momento de processar e exibir a imagem (LILLESAND et al., 2004).

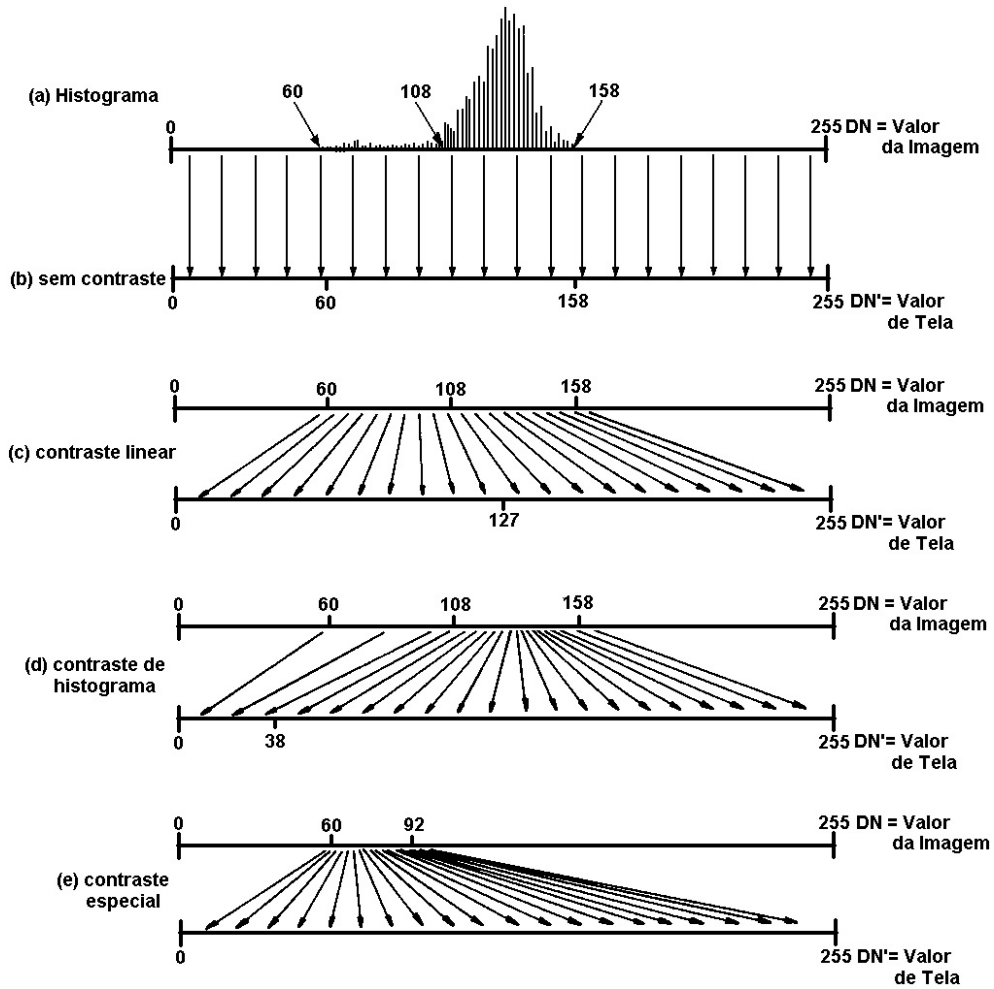


Figura 3.19. O algoritmo que gera o contraste é exibido graficamente (LILLESAND et al., 2004).

A Figura 20 ilustra os tipos mais comuns de manipulação do contraste (GUPTA, 1991):

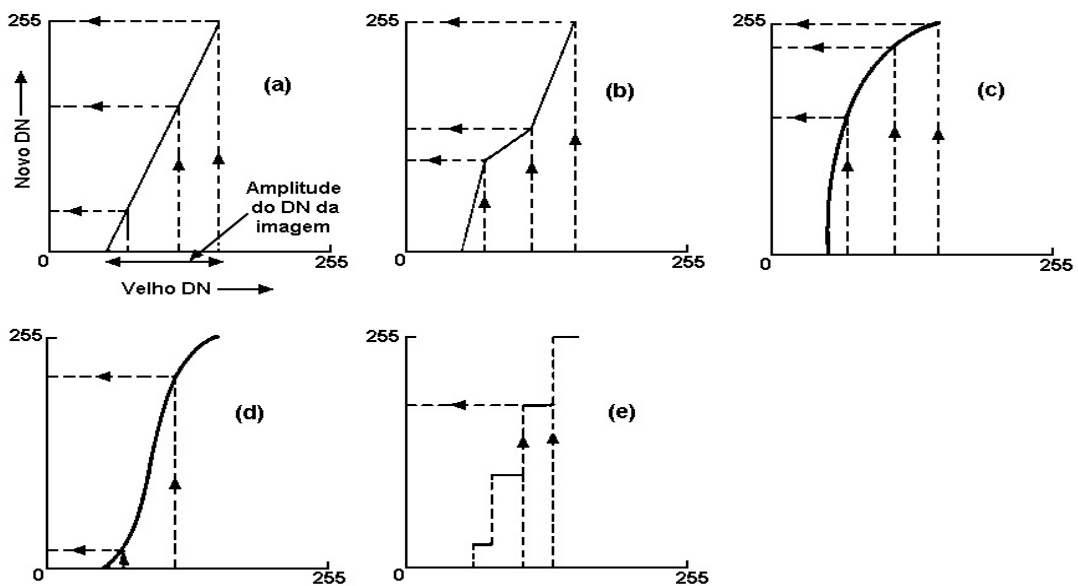


Figura 3.20. Tipos mais comuns de contraste (GUPTA, 1991): a - Contraste Linear; b - Contraste Múltiplo-Linear; c - Contraste Logarítmico; d - Contraste de Equalização do Histograma; e - Fatiamento de Densidade.

CONTRASTE LINEAR - é o tipo de contraste mais comumente observado. Os valores são distribuídos de forma a ocupar toda a amplitude de DN (Figura 3.20a; GUPTA, 1991). É o contraste executado na Figura 18. As caudas de distribuição podem ser cortadas para aumentar ainda mais o contraste.

CONTRASTE MÚLTIPLO-LINEAR - diferentes segmentos dos DNs antigos são contrastados de maneira diferente, cada segmento possuindo o seu próprio contraste linear. Pode ser útil quando se deseja contrastar uma porção específica da amplitude de DNs em relação ao demais DNs (Figura 3.20b; GUPTA, 1991).

CONTRASTE LOGARÍTMICO - POTENCIAL OU FUNCIONAL - os dados podem ser contrastados utilizando-se uma função logarítmica, de potenciação ou de acordo com uma função específica. Em geral são utilizados para contrastar feições que estão nas porções escuras da imagem original (Figura 3.20c; GUPTA, 1991).

CONTRASTE GAUSSIANO - é um modo para manipulação de escalas de tons de cinza. A nova escala de cinza é calculada a partir da distribuição dos valores do histograma original em uma curva de distribuição normal. Isto gera mais contraste nas caudas de distribuição do histograma original, sendo que os cortes nas caudas de distribuição devem ser observados com atenção neste tipo de contraste (GUPTA, 1991).

CONTRASTE DE EQUALIZAÇÃO DO HISTOGRAMA - também chamado de contraste em rampa, contraste de função de distribuição acumulativa ou ainda contraste de distribuição uniforme. A nova imagem tem uma densidade uniforme de *pixels* ao longo do eixo de DN. No geral a imagem tem um contraste aumentado, é mais utilizado em imagens que serão trabalhadas em tons de cinza, não sendo muito adequado para imagens coloridas (Figura 3.20d; GUPTA, 1991).

FATIAMENTO DE DENSIDADE - é outro tipo de manipulação indicada para escalas de cinza. A escala de cinza original é subdividida em um número de amplitudes, que são definidas em níveis específicos, homogêneos ou não, para gerar a nova escala de cinza (Figura 3.20e; GUPTA, 1991).

### 3.5.1.1. Redução de Ruídos

Lillesand et al. (2004) explicam que ruídos são quaisquer alterações indesejadas em dados das imagens, geradas por limitações no sensoriamento, digitalização do sinal ou no processo de gravação. Este ruído pode degradar ou mesmo mascarar completamente a informação radiométrica presente na imagem.

Embora os autores citem que a etapa de redução de ruídos e seus efeitos preceda fases subsequentes de realce ou classificação, esta redução pode implicar na alteração dos *digital numbers* originais da imagem, podendo acarretar na perda de informações.

As operações de redução de ruídos e mesmo de correções de efeitos atmosféricos (*haze*) são operações de realce radiométrico. Estes ruídos, que podem estar dispersos na imagem, normalmente estão associados com problemas ocorridos com o sensor durante a captura da imagem.

Dentre os ruídos, as imagens podem apresentar um bandejamento (*striping*), que como o nome diz, visualmente se caracteriza pela presença de faixas, originadas por problemas no ajuste do sensor. As correções dos ruídos são feitas por meio de filtragens (filtros são discutidos adiante, neste capítulo, item 3.7).



Ocorrem ainda os chamados saltos-de-linha (*line dropout*), que ocorrem quando o sensor falha e não fornece informações, gerando uma linha de valores anômalos. Isto também ocorre quando o sensor é saturado por um brilho intenso, de maneira análoga ao que acontece com os olhos humanos sob o efeito de um *flash* de câmera fotográfica. A correção é feita preenchendo-se a área afetada por valores estimados com base nas linhas anterior e posterior.

### 3.5.2. Realce Espacial

Neste tipo de realce as imagens são realçadas com base nos valores de cada *pixel* individualmente em conjunto com aqueles dos *pixels* que o circundam. Envolve filtros estatísticos e de convolução (filtros são discutidos adiante, neste Capítulo, item 3.7) além da fusão de bandas de resolução espacial diferente.

Geralmente as bandas pancromáticas dos satélites apresentam resolução espacial superior às bandas multiespectrais (ver Tabela 3.2). Exemplos disto são os satélites Landsat ETM+, o SPOT, o IKONOS e o Quickbird. Assim a técnica de realce espacial, também chamada de fusão, permite que se obtenha imagens coloridas (RGB e falsa-cor) de maior resolução, a partir da banda pancromática fornecendo a resolução espacial e com as bandas MSS fornecendo a informação espectral (Figura 3.21).



Figura 3.21. Comparação entre a banda pan (1 m de resolução espacial, à esquerda), uma composição RGB 321 (visível - 4 m de resolução espacial, ao centro) e a fusão (realce espacial) entre as duas, mostrando uma imagem do visível, com 1 m de resolução espacial (Imagem IKONOS).

### 3.5.3. Realce Espectral

Neste tipo de realce as imagens são realçadas levando em consideração os valores dos *pixels* em todas as bandas disponíveis na imagem. Envolve transformações no sistema de composições das imagens e as operações entre bandas, por conseguinte, os chamados índices (de vegetação, hidrotermal, etc.).

#### 3.5.3.1. Operações Entre Bandas

A operação entre bandas, também chamada de álgebra de imagens, é uma técnica que permite efetuar operações entre imagens ou bandas de uma mesma imagem.

Este tipo de operação é utilizado para a criação de índices, ou seja, imagens que são criadas pela combinação matemática dos *digital numbers* de diferentes bandas (SCHRADER e POUNCEY, 1997). Alguns exemplos de Schrader e Pouncey (1997) para índices utilizados para imagens Landsat TM (que, portanto, servem ao ETM+ ou sensores similares):

Índice de Vegetação = B4 - B3;

Óxido de ferro = Banda 3/Banda 1;

Minerais de Argila = Banda 5/Banda 7;

Minerais ferrosos = Banda 5/Banda 4;

Composição Hidrotermal = *Red*: B5/B7; *Green*: B3/B1; *Blue*: B4/B3.

### 3.5.3.2. Índice de Vegetação

É comum o uso de índices no estudo da cobertura vegetal. Estes índices são obtidos com operações entre bandas, mais especificamente entre o vermelho e o infravermelho próximo (as aplicações isoladas destas bandas podem ser observadas na Tabela 3.1).

A assinatura espectral de áreas vegetadas se caracteriza pela baixa refletância do visível e, portanto, do vermelho e intensa refletância na faixa do infravermelho próximo; assim possuem um índice alto. Em contraste, nuvens, água e neve têm uma refletância maior no visível do que no infravermelho próximo, atingindo valores negativos. Afloramentos rochosos e solos expostos apresentam resposta similar nas duas bandas e o resultado para o índice é próximo de zero (LILLESAND et al., 2004).

Esta é a base para o desenvolvimento dos Índices de Vegetação, que envolvem divisão, soma e diferença entre bandas espectrais (CRÓSTA, 1992; SCHRADER e POUNCEY, 1997; LILLESAND et al., 2004). O índice de vegetação é dado por duas formas principais:

VI (*vegetation index* - índice de vegetação)

VI = Infravermelho Próximo - Vermelho

NDVI (*normalized difference vegetation index* - índice de vegetação normalizado):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Infravermelho Próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho Próximo} + \text{Vermelho}}$$

Para ambos os casos pode-se usar imagens Landsat (TM e ETM+) e CBERS-2 (CCD), onde o vermelho é representado pela banda 3 e o infravermelho próximo pelo canal 4. Além destes satélites, podem ser utilizados outros sensores que captem a radiação eletromagnética na faixa do vermelho e infravermelho próximo (Figura 3.22). Para se saber quais bandas, de que satélite, correspondem ao vermelho e infravermelho, pode-se verificar a Tabela 3.1, no item 3.1.1 - Resolução Espectral. Dentre estes dois índices, o NDVI (*normalized difference vegetation index* - índice de vegetação normalizado) é o mais empregado para monitoramento global, pois faz mais compensação das diferenças de condições de iluminação (como a declividade da superfície, entre outros) (LILLESAND et al., 2004).



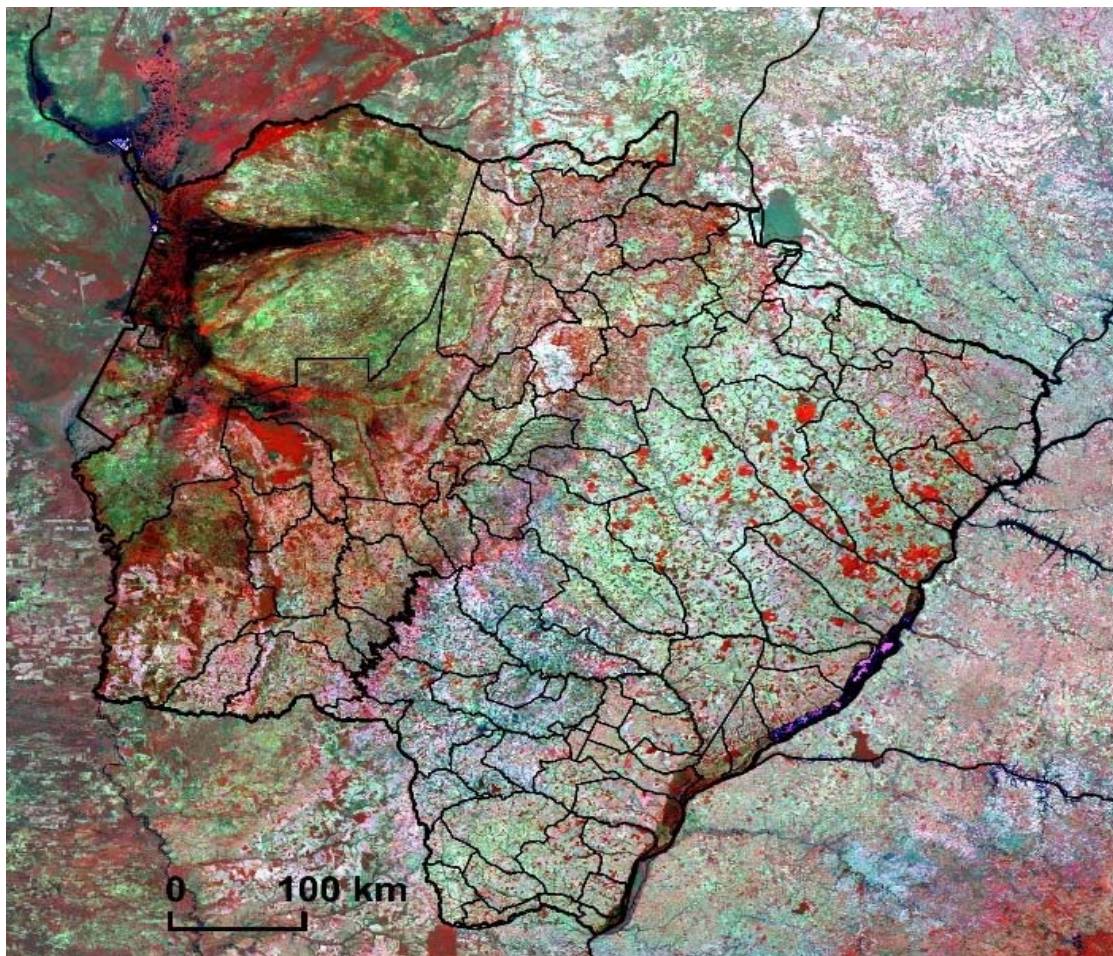


Figura 3.22. NDVI (índice de vegetação normalizado) elaborado com as duas bandas do sensor MODIS (vermelho e infravermelho próximo, com 250 m de resolução espacial) do satélite TERRA de julho de 2014 (LP-DAAC, 2014) mostrando os limites de Mato Grosso do Sul e sua divisão política.

### 3.6. Geometria de Visada e Interna do Sensor

O FOV (*Field of View*), conforme Figura 3.23, consiste no ângulo de visibilidade do sensor. Já o IFOV (*Instantaneous Field of View*) é o ângulo de visibilidade de cada fotodetector do sensor e determina a área na superfície da Terra que é imageada pelo elemento sensor (*pixel*) a partir de uma determinada altitude em um momento particular (POLI, 2005). Portanto, a partir do IFOV é possível estimar o campo de visada instantâneo no terreno, denominado de GIFOV (*Ground Instantaneous Field of View*). No entanto, devido à geometria de visada e à curvatura da Terra, o GIFOV apresenta certa variação. O tamanho do GIFOV aumenta à medida que o ângulo *off-nadir* ( $Q$  – ver Figura 3.23) aumenta. Assim, utiliza-se o GSD (*Ground Sample Distance*) como elemento de resolução espacial no terreno, que apresenta um valor constante para todos os *pixels* na imagem (SILVA, 2007).

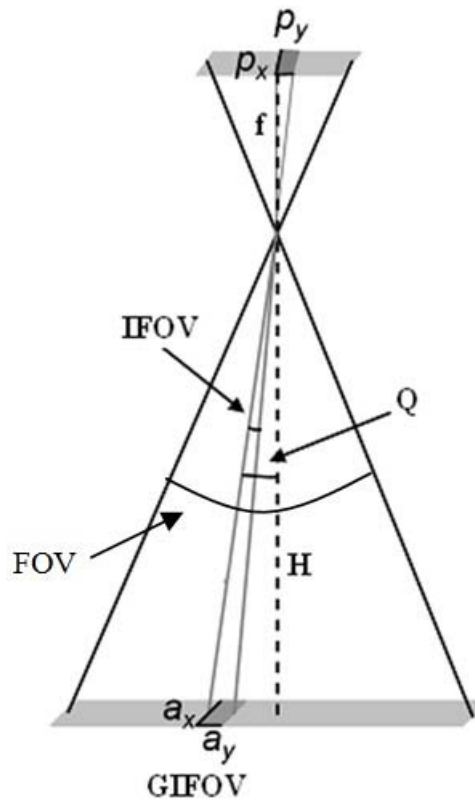


Figura 3.23. Relação entre o FOV, IFOV, GIFOV, distância do sensor ao objeto ( $H$ ) e ângulo *off-nadir* ( $Q$ ) (POLI, 2005).

Para os sensores orbitais de alta resolução é aplicado um movimento para o lado dos satélites, denominado de *crab movement* (andar de caranguejo) que associado com a tecnologia TDI (*Time Delay Integration*) tem por objetivo evitar o borramento nas imagens. No entanto, mesmo com esta correção, alguns componentes ópticos destes sensores, como as lentes e os prismas, podem provocar o efeito de borramento, degradando, portanto, a resolução espacial das imagens. Surge, então, o termo resolução espacial efetivo que pode ser representada pelo EIFOV (*Effective Instantaneous Field of View*), IFOV efetivo. O GEIFOV (*Ground Effective Instantaneous Field of View*) representa o campo de visada instantâneo efetivo no terreno.

A geometria interna do sensor representada pelos Parâmetros de Orientação Interior (POI) – distância focal ( $f$ ); coordenadas do Ponto Principal ( $49P$ ), que é projeção ortogonal do Centro Perspectivo – CP no plano focal do sensor; coeficientes das distorções das lentes (radial simétrica –  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$ ; e descentrada –  $P_1$  e  $P_2$ ) e; parâmetros de afinidade ( $A$  e  $B$ ) (MIKHAIL et al., 2001).

Ao conhecer os POI é possível reconstruir os feixes de raios que originaram a imagem. A Figura 3.24 apresenta a geometria interna de um sensor de quadro e de um sensor de varredura linear, representando apenas a distância focal ( $f$ ). Em geral, as plataformas orbitais possuem sensores de varredura linear, também conhecidos por sensores *pushbroom*.

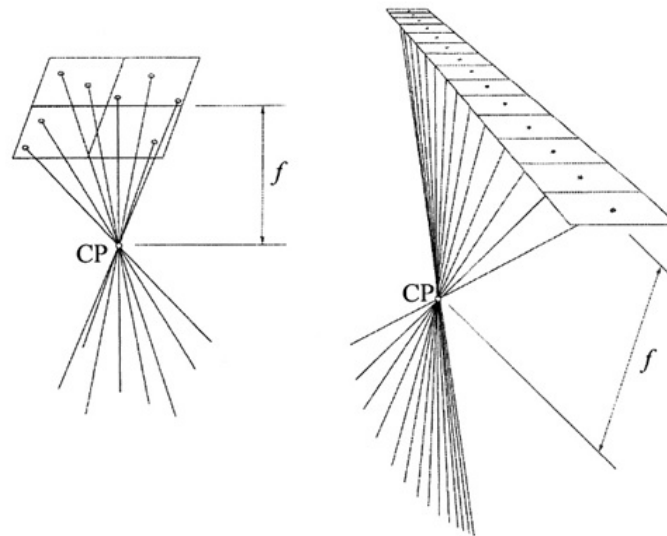


Figura 3.24. Modelo de sensor (a) câmara de quadro e (b) câmara de varredura linear (MIKHAIL et al., 2001).

Os POI são estimados no processo de calibração, em geral, realizado em laboratório. No entanto, quando se realiza a aquisição das imagens em ambientes não controlados com diferentes condições de temperatura e pressão, os POI podem sofrer alterações. No caso dos sensores orbitais, que sofrem grandes variações de ambiente e são submetidos a diversas forças ao serem lançados em órbita, os valores calibrados dos POI podem ser recalculados com recursos de calibração em serviço (*in situ*) (JACOBSEN, 1998; KORNUS et al., 1999; FRITSCH e STALLMANN, 2000; KOCAMAN e GRUEN, 2007; SRINIVASAN et al., 2008). É importante ressaltar que este processo de calibração em serviço deve ser realizado ao longo de toda a vida útil do satélite.

### 3.7. Filtragem

A filtragem de imagens visando sua correção é também chamada de filtragem espacial (NOVO, 1989; CRÓSTA, 1992; LILLESAND et al., 2004) e difere da filtragem espectral, que serve para bloquear ou permitir a passagem de diferentes amplitudes espectrais.

Novo (1989) explica que a filtragem espacial é uma operação que atua na imagem *pixel* a *pixel* e a alteração do valor do *digital number* depende não somente de cada *pixel* isolado, mas dos valores dos *pixels* que o circundam (Figura 3.25).

Crósta (1992) explica que existem duas maneiras de se implementar as técnicas de filtragem: o processo chamado de convolução, que opera no domínio espacial de uma imagem ou a Análise Fourier, que opera no domínio das frequências que compõem a imagem. O autor explica que a filtragem no domínio de frequências é sem dúvida mais poderosa e precisa, mas muito mais complexa. Já a convolução é uma operação simples e atende à maioria das necessidades dos usuários de sensoriamento remoto.

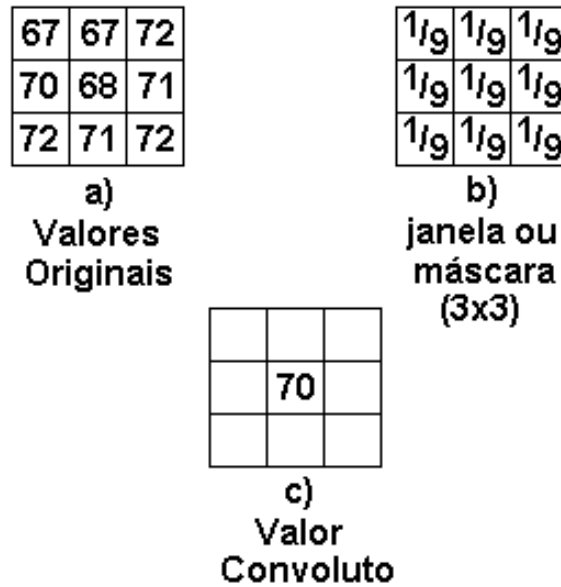


Figura 3.25. A filtragem espacial é feita por um processo chamado convolução, no qual o valor original do *pixel* ao centro é alterado considerando-se os valores dos *pixels* que o rodeiam. Neste caso tem-se uma janela móvel (*kernel*) de 3 x 3 com coeficientes de 1/9. Assim o resultado do *pixel* é a média de todos os valores de dentro da janela móvel.

$$1/9(67) + 1/9(67) + 1/9(72) + 1/9(70) + 1/9(68) + 1/9(71) + 1/9(72) + 1/9(71) + 1/9(72) = 630/9 = 70$$

Lillesand et al., (2004) explicam que a convolução atua na imagem através de uma janela móvel que contém um conjunto de coeficientes ou pesos, chamados de operadores e normalmente expressos em números ímpares, 3 x 3; 5 x 5; 7 x 7. Esta janela móvel também é chamada de máscara ou *kernel*. A imagem de saída é criada quando a janela móvel é movimentada por toda a cena, a cada passo (*pixel a pixel*) o valor de saída é calculado com os coeficientes ou pesos da janela móvel (Figuras 3.26 e 3.27).

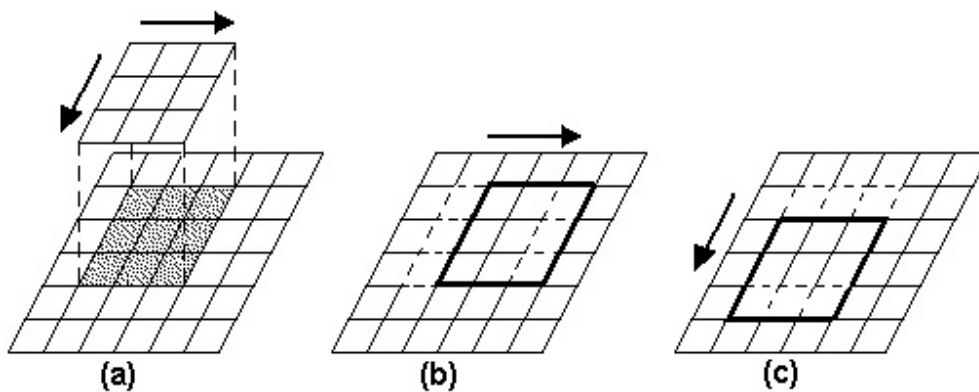


Figura 3.26. Esquema ilustrando o deslocamento da janela móvel por sobre a imagem (LILLESAND et al., 2004).



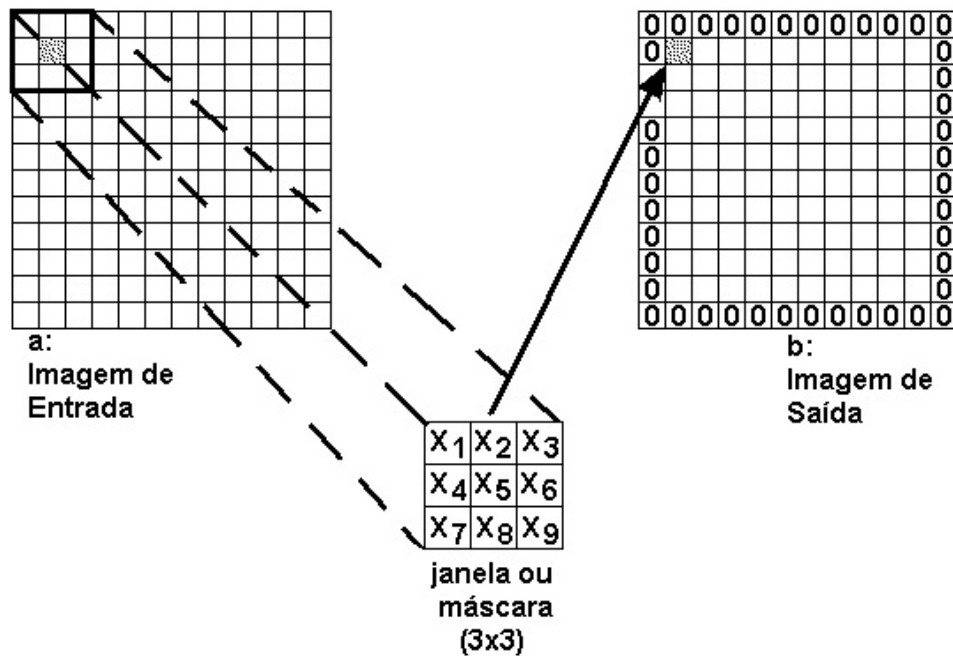


Figura 3.27. Esquema mostrando a filtragem, por convolução da imagem “a”, através da janela móvel 3 x 3, gerando a imagem “b”. O pixel central é calculado com os pesos (x1, x2, ..., x9) da máscara. A falta de valores para efetuar os cálculos nas bordas faz com que a linha externa seja “zerada”, gerando o chamado “efeito de borda” (CRÓSTA, 1992).

A filtragem é uma operação de reamostragem da imagem, ou seja, a imagem de saída possui os valores de seus *pixels* alterados em relação à imagem original. Isto pode implicar na perda de informações do arcabouço radiométrico espectral da imagem. Porém, principalmente no caso de interpretação visual de imagens, as filtrações são um recurso útil e muito utilizado.

Os principais tipos de filtros são os de passa-baixa, passa-alta e direcionais (NOVO, 1989; CRÓSTA, 1992; LILLESAND et al., 2004).

### 3.7.1. Filtros Passa-Baixa

Os filtros passa-baixa ou de suavização (*smoothing*) são desenhados para enfatizar as baixas frequências e reduzir o efeito das altas frequências. Assim as bordas entre objetos são suavizadas, bem como são reduzidos ruídos distribuídos pela imagem. Isto, porém pode causar um efeito de “desfocamento” da imagem ou mesmo a perda de detalhes (NOVO, 1989; CRÓSTA, 1992; LILLESAND et al., 2004). Novo (1989) cita ainda como efeito positivo destes filtros a remoção de faixas (*striping*) e como negativos a perda de contraste e a redução de informações sobre relevo.

Crósta (1992) cita como exemplos de filtros de passa-baixa, o de média, o de média ponderada, o de moda e o de mediana. Explica ainda que quanto maior a máscara, maior o efeito de desfocamento. Portanto, um filtro 9 x 9 produz uma imagem muito mais desfocada que um 3 x 3. O autor explica ainda que alguns tipos de filtro passa-baixa podem sim reter alguns detalhes ou bordas. O efeito de suavização de um filtro deste tipo pode ser visto na Figura 3.28.

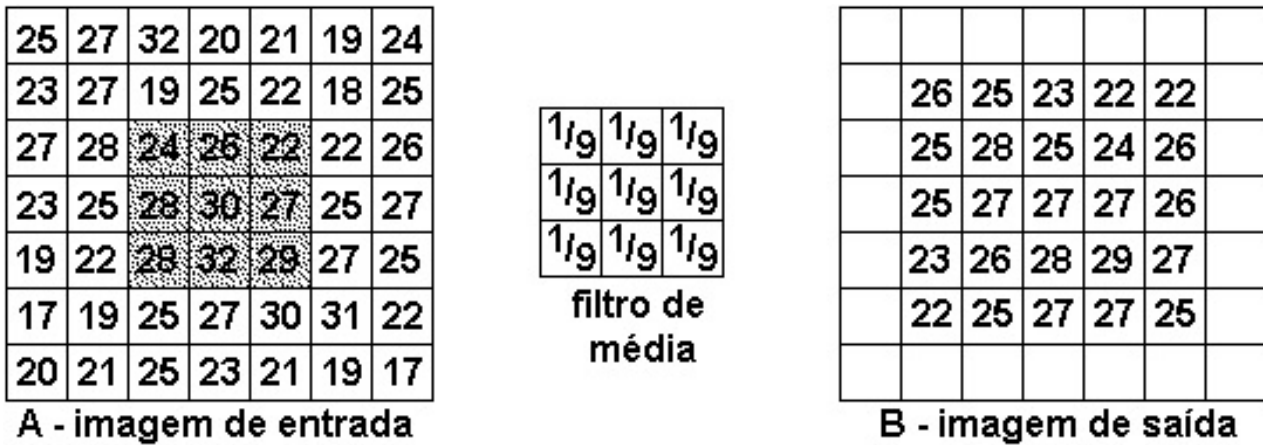


Figura 3.28. Exemplo de filtro passa-baixa, no caso um filtro de média. A imagem de saída possui uma amplitude de valores menor em relação à de entrada. Notar ainda o efeito de borda (adaptado de CRÓSTA, 1992).

### 3.7.2. Filtros Passa-Alta

Os filtros de passa-alta ou de realce de borda são desenhados para reduzir o efeito de baixas frequências e realçar as de altas, que normalmente definem detalhes e bordas, ou limites entre áreas com diferentes valores de *digital number* (CRÓSTA, 1992; LILLESAND et al., 2004).

Crósta (1992) cita como exemplos de filtros de passa-alta, os laplacianos e os laplacianos+original.

### 3.7.3. Filtros Direcionais

Constituem um tipo especial de filtro de passa-alta, porém é aplicado para realçar bordas em direções pré-determinadas. Os principais tipos são os de Roberts, Sobel e Prewitt. Existem ainda filtros direcionais que têm apenas uma dimensão (somente uma linha ou uma coluna) e que, porém, podem criar bordas artificiais, também chamadas de artefatos, que, no entanto, podem causar confusão durante a fotointerpretação (CRÓSTA, 1992; LILLESAND et al., 2004).

### 3.7.4. Aplicação de Filtragem Visando o Realce Radiométrico

Por diversos motivos as imagens podem apresentar uma exibição não muito nítida. Com o objetivo de melhorar a sua qualidade visual, para facilitar os trabalhos de fotointerpretação sobre elas, pode-se fazer uma filtragem na imagem, o que pode tornar suas feições mais fáceis de serem visualizadas pelo olho humano. Muitos pacotes de processamento digital de imagens de satélite possuem recursos para a melhoria e filtragem de imagens.

Neste contexto, as imagens CBERS-2, sensor CCD, apresentam, muitas vezes, uma aparência embaçada ou desfocada, devido a algumas características do sensor (SOUZA, 2005). Assim, visando uma melhoria da visualização de imagens deste sensor Paranhos Filho et al. (2005a) testaram diferentes filtros, conforme é mostrado na Figura 3.29, a imagem resultante é de mais fácil fotointerpretação.



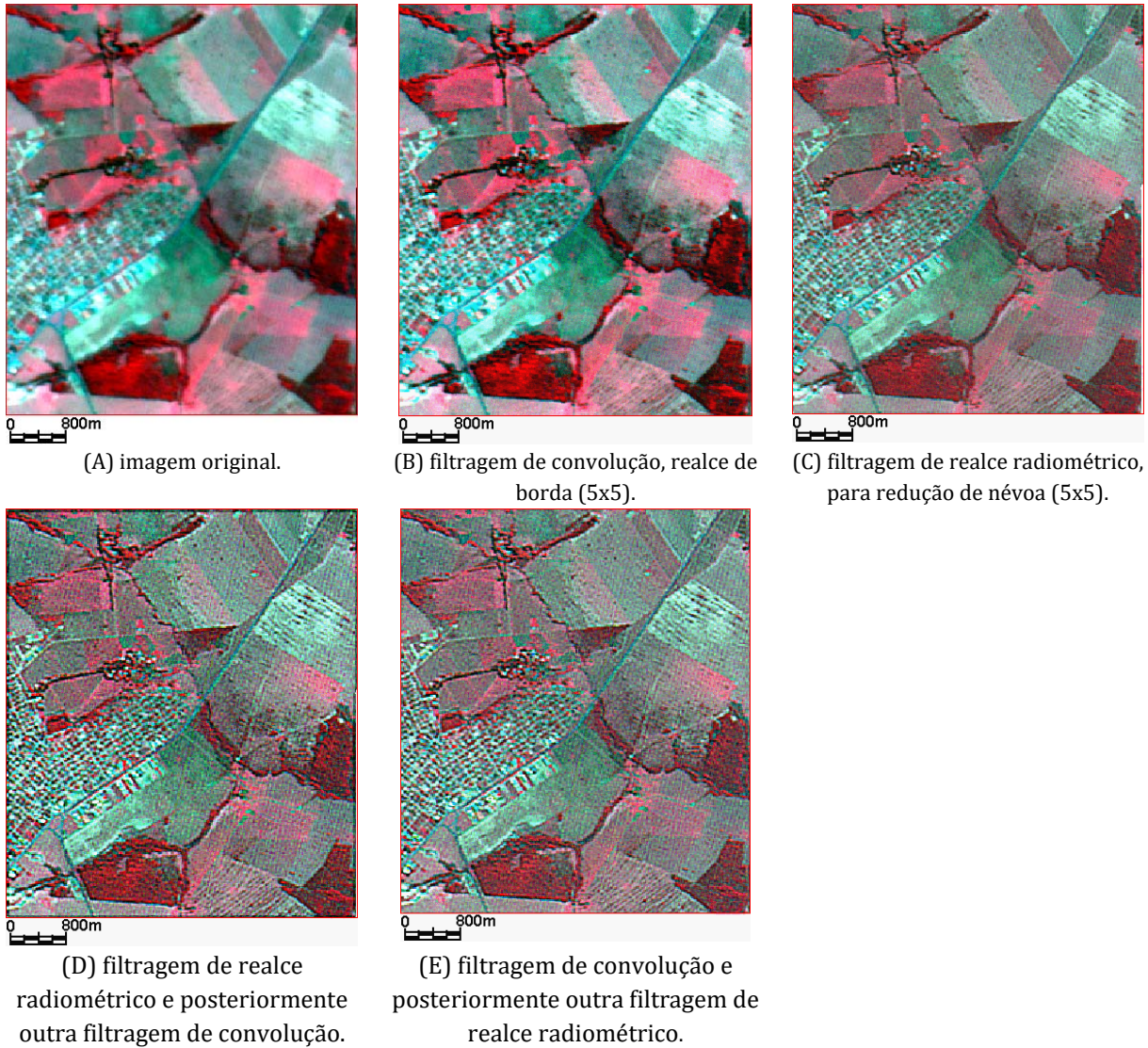


Figura 3.29. Imagem CBERS-2, sensor CCD em composição falsa-cor 4, 3, 2. Comparação entre o aspecto visual original em A e filtrado em B, C, D e E (PARANHOS FILHO et al., 2005a). Deve-se observar como o arruamento da área urbana se torna mais nítido nas imagens filtradas do que na original.

### 3.7.5. Aplicação de Fusão Espectral

O sensor CCD do satélite CBERS-2 possui quatro bandas multiespectrais, mais uma pan. Já os sensores TM e ETM+ do Landsat apresentam seis bandas multiespectrais (mais uma infravermelha termal e uma pan). Deste modo pode-se afirmar que os sensores TM/ETM+ possuem uma resolução espectral mais fina, o que lhes confere o potencial maior na identificação dos diferentes tipos de cobertura do solo.

Além disto, as imagens Landsat TM e ETM+ têm sido amplamente utilizadas desde a década de 1980, o que permitiu a criação de uma “cultura de produto”, ou seja, os pesquisadores e os usuários já adquiriram boa experiência na identificação dos diferentes tipos de coberturas utilizando imagens dos sensores TM e ETM+, que são equivalentes espectralmente.

Tendo isto em vista, existem trabalhos (PARANHOS FILHO et al., 2005b; STEFANES, 2005) avaliando o potencial do uso combinado dos sensores CCD e IRMSS do CBERS-2, pois o

sensor IRMSS possui bandas na faixa do infravermelho médio e distante do espectro eletromagnético, exatamente faixas espectrais que faltam ao CCD e, portanto, poderiam lhe fornecer uma resolução espectral mais fina. Porém o sensor IRMSS apresenta uma resolução espacial de 80 m (Tabela 3.4).

O realce espacial já foi apresentado no item 3.5.2. Assim, este mesmo procedimento foi aplicado para imagens do sensor IRMSS (80 m de resolução espacial) visando sua integração com imagens do sensor CCD (20 m de resolução espacial), ambos sensores CBERS-2.

Tabela 3.4. Comparação das bandas (intervalo espectral) do Landsat TM/ETM+ e CBERS-2 CCD/IRMSS (INPE, 2018, 2020; NASA, 2019).

Landsat TM Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Landsat ETM+ Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	CBERS-2 CCD Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	CBERS-2 IRMSS Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )
<b>Resolução espacial 30 m</b>	<b>Resolução espacial 30 m</b>	<b>Resolução espacial 20 m</b>	<b>Resolução espacial 80 m</b>
B1 Azul 0,45 - 0,52	B1 Azul 0,45 - 0,52	B1 Azul 0,45 - 0,52	-----x-----
B2 Verde 0,52 - 0,60	B2 Verde 0,53 - 0,61	B2 Verde 0,52 - 0,59	-----x-----
B3 Vermelho 0,63 - 0,69	B3 Vermelho 0,63 - 0,69	B3 Vermelho 0,63 - 0,69	-----x-----
B4 Infravermelho próximo 0,76 - 0,90	B4 Infravermelho próximo 0,78 - 0,90	B4 Infravermelho próximo 0,77 - 0,89	-----x-----
B5 Infravermelho médio 1,55 - 1,75	B5 Infravermelho médio 1,55 - 1,75	-----x-----	B1 Infravermelho médio 1,55 - 1,75
B6 Infravermelho termal (resolução espacial 120 m) 10,4 - 12,5	B6 Infravermelho termal (resolução espacial 60 m) 10,4 - 12,5	-----x-----	B3 Infravermelho termal 10,40 - 12,50
B7 Infravermelho distante L5: 2,08 - 2,35	B7 Infravermelho distante 2,09 - 2,35	-----x-----	B2 Infravermelho médio 2,08 - 2,35
-----x-----	B Pancromática (resolução espacial 15 m) 0,52 - 0,90	B Pancromática 0,51 - 0,73	B Pancromática (resolução espacial 160 m) 0,50 - 1,10

B1 = Banda 1; B2 = Banda 2; B3 = Banda 3 e assim por diante.

O resultado é uma imagem com 6 bandas multiespectrais, as quatro bandas originais (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo) acrescidas de duas imagens originadas da fusão, nas faixas do infravermelho médio e distante. Estas duas bandas adicionais apresentam perda espectral em relação às IRMSS originais, porém ainda assim permitem a individualização de alvos que somente as quatro bandas CCD sozinhas não conseguiriam identificar (Figura 3.30).

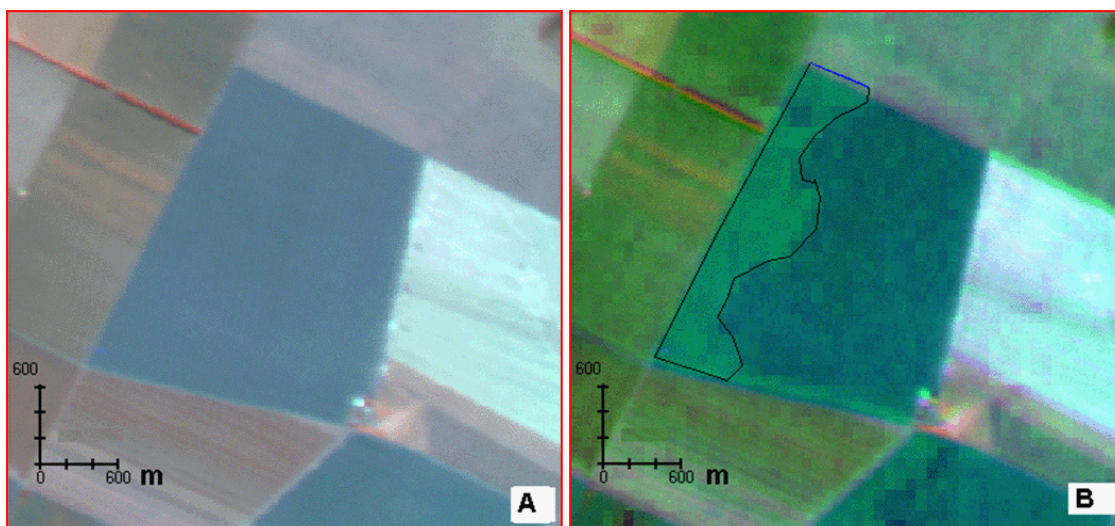


Figura 3.30. O recorte A é composto em RGB 423 do CCD, enquanto o recorte B é composto com as bandas RGB 453 (neste caso 5' é uma IRMSS do infravermelho médio fusionada). Em B é possível visualizar uma feição (destacada pelo polígono irregular em preto) que não aparece na composição com somente as bandas do CCD originais em A (mesmo que se utilizem outras composições falsa-cor) (STEFANES, 2005).

### 3.8. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1) e de J. Marcato Junior (CNPq Processo 303559/2019-5).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

### 3.9. Referências

CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, P. H.; LOPES, R. A. S.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F. de; MARTINS, E. de S.; PEDREÑO, J. N. Estratificação dos ambientes de mistura em imagens hiperespectrais. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO TEMOTO*, 11., Belo Horizonte, MG, 2003. **Anais [...]**. Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1045-1051.



- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/Unicamp, 1992. 170 p.
- DIAL, G.; GRODECKI, J. 2003. Applications of Ikonos Imagery. *In: ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS*, Anchorage, Alaska, 2003. **Proceedings [...]**. Anchorage: Space Imaging, 2003.
- DIGITAL GLOBE. **QuickBird Imagery Products**. Product Guide. Revision 4.7.3. Longmont, Colorado: DigitalGlobe Inc., 2007. 15 p. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~bethel/qbguide.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Landsat**. 2014. Disponível em: <http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br/txt/landsat.htm>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **SPOT – Système Pour l’Observation de la Terre**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/spot>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- ERBERT, M. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2001. Master Tesis – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.
- FRITSCH, D.; STALLMANN, D. Rigorous photogrammetric processing of high resolution satellite imagery. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33, p. 313-321, 2000.
- GUPTA, R. P. **Remote Sensing Geology**. Berlin: Springer Verlag, 1991. 356 p.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS 2**. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3, 4 e pan. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 163 ponto 123. De 7 de junho de 2004. 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS**. 2018. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Landsat**. 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- JACOBSEN, K. Calibration of IRS-1C PAN-camera. *In: ISPRS COMMISSION I SYMPOSIUM EARTH OBSERVATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 1998, Bangalore, India. **Proceedings [...]**. Bangalore, India, 1998.
- KOCAMAN S.; GRUEN A. Rigorous Sensor Modeling of ALOS/PRISM Imagery. *In: CONFERENCE ON OPTICAL 3D MEASUREMENT TECHNIQUES*, 8., 2007, Zurich, Switzerland. **Proceedings [...]**. Zurich, 2007.
- KORNUS, W.; LEHNER, M.; SCHROEDER, M. Geometric inflight calibration by block adjustment using MOMS-2P imagery of three intersecting stereo strips. *In: ISPRS WORKSHOP SENSORS AND MAPPING FROM SPACE*, 1999, Hanover. **Proceedings [...]**. Hanover, 1999.
- LANDSAT. **Imagem Landsat 5 TM**. Canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 225 ponto 073. De 28 de setembro de 1996. 1996. CD ROM.
- LANDSAT. **Imagem Landsat 7 ETM+**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 7 e pan. Curitiba: Engesat. Imagem de Satélite. Órbita 225 ponto 074. De 14 de junho de 2001. 2001. CD ROM.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.

- LP-DAAC. P. D. A. A. C. Imagens MODIS. Surface Reflectance 16-Day L3 Global 250 m. 2014. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley e Sons Inc, 2001. 479 p.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8 Mission Updates**. 2013. Disponível em: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/main/mission-updates.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/main/mission-updates.html). Acesso em: 20 ago. 2020.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat-7 Science Data User's Handbook**. Version 2.0. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-7-data-users-handbook>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8 Overview**. 2020. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto Princípio e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1989. 309 p.
- PARANHOS FILHO, A. C. Análise GeoAmbiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho. 2000. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2000.
- PARANHOS FILHO, A. C.; OLIVEIRA, L. G. L. de; KAWAMOTO, H. R. H.; TERUYA JUNIOR, H.; CORRÊA, L. C.; TORRES, T. G.; LASTORIA, G. Pré-processamento de imagens CBERS-2, sensor CCD, para melhoria radiométrica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 4., 2005, Ribeirão Preto, São Paulo. **Anais [...]**. Ribeirão Preto, 2005a.
- PARANHOS FILHO, A. C.; STEFANES, M.; TERUYA JUNIOR, H.; KAWAMOTO, H. R. H.; OLIVEIRA, L. G. L. de; CORRÊA, L. C.; SANTOS, C. W. C. dos. 2005. Avaliação da potencialidade do uso combinado dos sensores IRMSS e CCD do CBERS-2. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 4., 2005, Ribeirão Preto, São Paulo. **Anais [...]**. Ribeirão Preto, 2005b.
- PIZARRO, M. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; GALVÃO, L. S. Caracterização mineralógica de solos tropicais por sensoriamento remoto hiperespectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1277-1286, 2001.
- POLI, D. **Modelling of Spaceborne Linear Array Sensors**. 2005. Tese (Doctor of Technical Sciences) – SWISS Federal Institute of Technology Zurich, 2005.
- QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAÚJO, L. E. Sensoriamento Remoto. *In*: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (org.). **Geotecnologias e Geoinformação**. Brasília: Embrapa, 2014.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000. 220 p.
- SCHRADER, S.; POUNCEY, R. **Erdas Field Guide**. 4. ed. Atlanta: Erdas Inc, 1997. 656 p.
- SILVA, A. J. F. M. **Geometria de imagens: do projeto do satélite à geração dos produtos**. 2007. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2007.
- SOUZA FILHO, C. R. de; CRÓSTA, A. D. Geotecnologias aplicadas à geologia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 1-4, 2003.

SOUZA, P. E. U. de. Restauração de imagens CCD/CBERS-2 pelo método de Richradson-Lucy modificado. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005, Goiânia, GO. **Anais [...]**. Goiânia: INPE, 2005. p. 1107-114.

SRINIVASAN, T. P.; ISLAM, B.; SINGH, S. K.; GOPALA KRISHNA, B.; SRIVASTAVA, P. K. **In-flight geometric calibration – an experience with Cartosat-1 and Cartosat -2**. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 37., 2008, Beijing. Beijing: ISPRS, 2008, p. 83-88.

STEFANES, M. **Estudo de caso: utilização do satélite CBERS 2 para caracterização da cobertura do solo na bacia Hidrográfica do Rio Serrote, MS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat: A global land-observing program**. USGS Fact Sheet 023-03. US Department of the Interior. US Geological Survey. 2003. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/2003/0023/report.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat Missions**. 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>. Acesso em: 19 ago. 2020.



# Satélites e Sensores

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Luciana Escalante Pereira<sup>2</sup>, Camila Leonardo Miotto<sup>2</sup>, Dhonatan Diego Pessi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP - Universidade de São Paulo, <sup>2</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Neste capítulo são apresentadas algumas das famílias de satélites mais empregadas dentro do contexto das Geotecnologias. Destaca-se que todas elas podem ser encontradas de forma gratuita na rede.

## 4.1. CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

Com o intuito de driblar os altos custos relacionados a imagens de satélites, o Brasil e a China assinaram um acordo em julho de 1988 para o desenvolvimento do Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) (INPE, 2018). Esta postura permitiu que profissionais, pesquisadores e usuários de sensoriamento remoto das mais diferentes áreas tivessem efetivo acesso a imagens de qualidade.

A princípio, o Programa CBERS contava com dois satélites: os satélites CBERS 1 e 2, os quais são tecnicamente idênticos, com órbitas hélio-síncronas a uma altitude de 778 km e fazem cerca de quatorze revoluções por dia, com cobertura completa da Terra em 26 dias (INPE, 2018). Ambos possuem três instrumentos (CCD, IRMSS e WFI) e estão inativos atualmente.

Devido aos excelentes resultados e de modo a evitar a interrupção no fornecimento de imagens foram acordados novos protocolos complementares. O primeiro acordo estabeleceu o lançamento de mais um satélite, no caso o CBERS-2B (Tabela 4.1), o que ocorreu somente em setembro de 2007. Esse satélite apresenta as mesmas características do CBERS-2, exceto pela incorporação de uma nova câmera HRC (com resolução espacial de 2,5 m), que substituiu a câmera para imageamento no infravermelho (IRMSS) (INPE, 2020a).

Tabela 4.1. Características dos sensores do CBERS-2B, lançado em 2007 (INPE, 2020a).

Câmeras	Resolução	Bandas	Faixa Imageada
CCD	20 m	B, G, R, NIR, PAN	113 km, visada lateral (32º)
HRC	2,5 m	PAN	27 km, visada lateral (4º)
WFI	260 m	R, NIR	890 km

No segundo protocolo, Brasil e China celebraram um acordo regularizando a distribuição de imagens CBERS em outros países. Trata-se do marco legal que abriu o caminho para que ambos os países distribuíssem imagens CBERS em âmbito internacional, em base comercial. Assim, em 2009, o então presidente do Brasil, Luis Inácio Lula da Silva, assinou memoriais para a recepção do CBERS nas estações de Ilhas Canárias, África do Sul e Egito (AEB, 2009).

Dentro desse contexto, os dois governos decidiram dar continuidade ao programa, firmando um novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de mais dois satélites, os CBERS-3 e 4, os quais representam a segunda geração da família CBERS e uma evolução dos satélites CBERS-1 e 2. Esses satélites voltaram a contar com a câmera IRMSS e o sensor HRC, presente no CBERS-2B, foi substituído pelo sensor PANMUX (INPE, 2018).

O satélite CBERS-3 foi lançado em 9 de dezembro de 2013, porém houve uma falha de funcionamento do veículo lançador durante o voo e, conseqüentemente, o satélite não foi posicionado na órbita prevista, o que ocasionou no seu retorno a atmosfera terrestre. Com o objetivo de assegurar o cumprimento do programa CBERS, o Brasil e a China concordaram em iniciar imediatamente as discussões técnicas para antecipar a montagem e o lançamento do CBERS-4. Assim, o CBERS-4 foi lançado em dezembro de 2014, passando a disponibilizar imagens em janeiro de 2015 (INPE, 2018). Projetado com uma expectativa de vida útil de três anos, o CBERS-4 já superou essa expectativa, completando mais de cinco anos na geração de imagens terrestres.

Com o sucesso da missão do CBERS-4, o sexto satélite da parceria entre Brasil e China foi lançado em dezembro de 2019, o CBERS-4A. O satélite CBERS-4A contém a bordo três câmeras imageadoras e foi projetado para uma vida útil de cinco anos (INPE, 2019a). Na Tabela 4.2 são apresentadas as características dos sensores dos satélites CBERS da segunda geração.

Tabela 4.2. Características dos sensores do CBERS 3, 4 e 4a (INPE, 2019a; 2020a).

<b>Câmeras</b>	<b>Resolução</b>	<b>Bandas</b>	<b>Faixa Imageada</b>
PAN	5 m / 10 m	PAN, G, R, NIR	60 km, visada lateral (32°)
MUX	20 m	B, G, R, NIR	120 km
IRS	40 m / 80 m	PAN, SWIR, SWIR, TH	120 km
WFI	64 m	B, G, R, NIR	866 km
WMP	2 m / 8 m	PAN, B, G, R, NIR	92 km

Os principais aspectos dos três sensores CBERS-2 (CCD, IRMSS e WFI) e CBERS-4 (PAN, MUX, IRS e WFI) estão descritos a seguir.

#### **4.1.1. Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD)**

Possui resolução espacial de 20 metros, em quatro bandas espectrais (visível e infravermelho próximo) e uma pancromática. Possui campo de visada de 113 km, que pode auxiliar nos estudos municipais ou regionais. Sua resolução temporal é de 26 dias, embora o sensor CCD tenha capacidade de visada lateral, podendo, portanto, reduzir o tempo de revisita (INPE, 2019b).

O INPE destaca como aplicações potenciais da câmara CCD (INPE, 2019c):

- **Vegetação:** a identificação de áreas de florestas, alterações florestais em parques, reservas, florestas nativas ou plantadas, quantificações de áreas e sinais de queimadas recentes (Figura 4.1).
- **Agricultura:** a identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, bem como as fiscalizações diversas.
- **Meio ambiente:** a identificação de atividades antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, florestas, cercanias urbanas, estradas, análise de eventos naturais compatíveis com a resolução da Câmera, mapeamento de uso do solo e expansões urbanas.
- **Água:** a identificação de limites de continente-água, estudos e gerenciamento costeiros e o monitoramento de reservatórios.
- **Cartografia:** dada a sua característica de permitir visadas laterais de até 32° a leste e a oeste, em pequenos passos, possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica. Essa característica também permite a obtenção de imagens de certa área no terreno em intervalos mais curtos, o que é útil para efeitos de monitoramento de fenômenos dinâmicos.
- **Geologia e solos:** o apoio a levantamentos de solos e de sistemas geológicos.
- **Educação:** geração de material de apoio a atividades educacionais em geografia, meio ambiente e outras disciplinas.

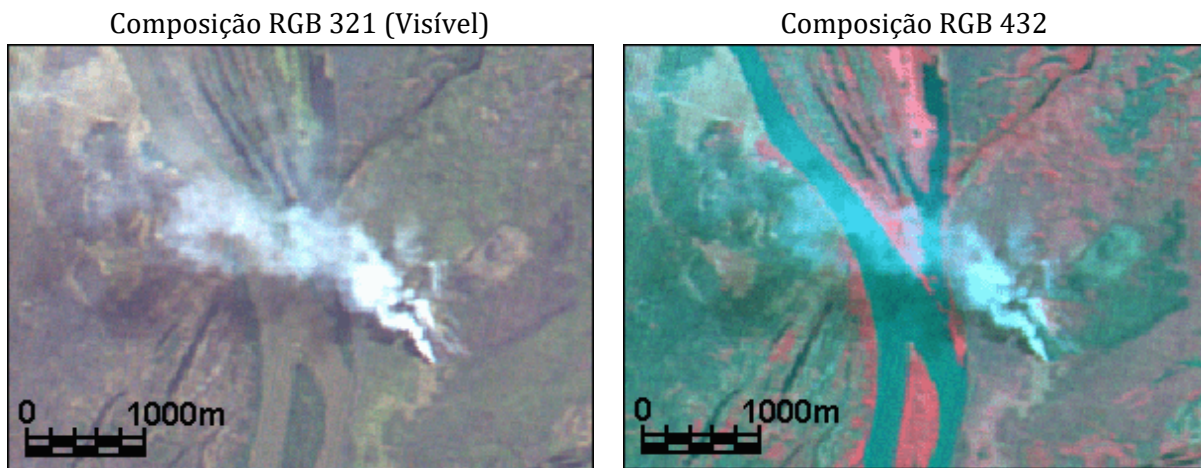


Figura 4.1. Diferentes composições CBERS-2 CCD, mostrando uma queimada próxima ao Rio Paraguai (INPE, 2005).

#### 4.1.2. Sensor IRMSS (Imageador por Varredura de Média Resolução)

Este sensor amostra duas bandas espectrais na região do infravermelho médio e distante, além de uma pancromática, todas com 80 metros de resolução espacial e ainda uma banda no infravermelho termal com 160 metros. Considerando as diferenças de resolução espacial e espectral, suas aplicações potenciais são as mesmas do sensor CCD (INPE, 2019b).

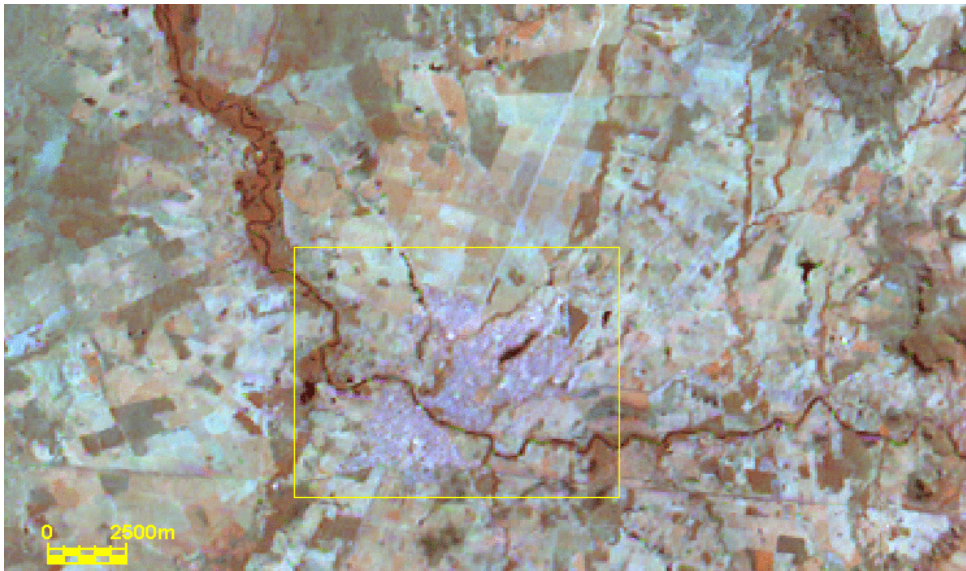


Para o INPE outras aplicações são (INPE, 2019c):

- A análise de fenômenos que apresentam alterações de temperatura na sua superfície.
- A geração de mosaicos estaduais.
- A geração de cartas-imagens.

Na Figura 4.2 pode-se observar uma imagem IRMSS, onde é possível identificar áreas florestadas ao longo do Rio Aquidauana (MS), dividindo as cidades de Aquidauana e Anastácio, áreas urbanas e de pastagens. Para efeitos de comparação há também um recorte de uma imagem CCD, que fornece mais detalhes. Porém, dependendo da escala de mapeamento, as imagens IRMSS podem atender a demanda, com a vantagem de consumirem menos recursos computacionais, pois são consideravelmente menores em *bytes*: um *pixel* de 80 m (como do IRMSS) equivale em área a 16 *pixels* de 20 m (como os do CCD).

Imagem A: Recorte de Imagem CBERS-2, IRMSS, RGB 123.



B: Zoom da área em amarelo, IRMSS, RGB 123

C: Zoom da área em amarelo, CCD, RGB 432

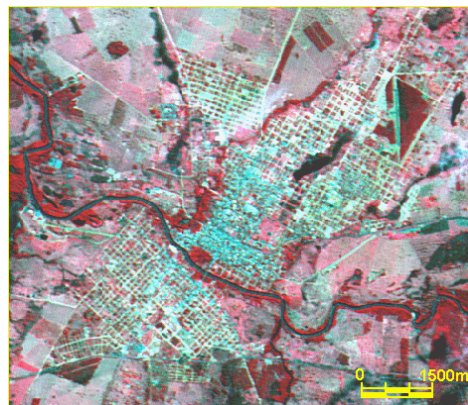
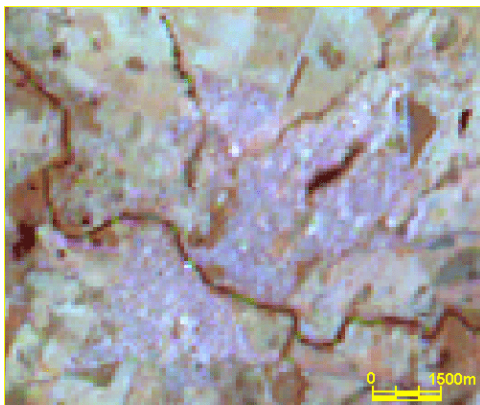


Figura 4.2. Exemplo de imagem CBERS-2, sensor IRMSS, na imagem se visualiza um trecho do Rio Aquidauana e as cidades de Anastácio e Aquidauana, MS. Em “A” pode se observar o contexto do Rio Aquidauana. A mata ciliar e a vegetação de porte arbóreo aparecem avermelhadas e as áreas de pastagem em tons esverdeados (18 de agosto de 2004; INPE, 2004). Em “B” pode se observar um *zoom* da área demarcada em amarelo em “A”, ainda utilizando o sensor IRMSS, que possui uma resolução espacial de 80 m. Em “C” tem-se o *zoom* da mesma área, porém, para fins de comparação, com uma imagem do sensor CCD, de resolução espacial de 20 m (B e C estão na mesma escala).

#### 4.1.3. O sensor WFI (Imageador de Amplo Campo de Visada)

O sensor WFI pode imagear grandes áreas territoriais, de mais de 890 km de extensão. Essa característica permite observar fenômenos nas escalas macrorregionais ou estaduais. Em função dessa ampla cobertura espacial, podem ser geradas imagens de uma dada região com menos de cinco dias de intervalo (INPE, 2019b).

A câmera WFI dos satélites CBERS de segunda geração (CBERS 3, 4 e 04A) é uma atualização da WFI presente nos satélites da primeira geração. A câmera passou a contar com quatro bandas espectrais, três no canal do visível (azul, verde e vermelho) e uma banda no infravermelho próximo, representando o canal do infravermelho. Além disso, a resolução espacial da câmera também foi alterada, passando a ter uma resolução de 64 m. Essas alterações na câmera permitem potencializar o uso e aplicação do sensor no monitoramento terrestre (INPE, 2019b).

Entre as aplicações podem ser mencionadas (INPE, 2019c):

- Geração de mosaicos nacionais ou estaduais.
- Geração de índices de vegetação para fins de monitoramento (Figura 4.3).
- Monitoramento de fenômenos dinâmicos, como safras agrícolas, queimadas persistentes.
- Sistema de alerta, em que a imagem WFI serve como indicativo para a aquisição de imagens de mais alta resolução, como CCD ou IRMSS.
- Acoplamento a outros sistemas mundiais de coleta de dados de baixa a média resolução.

Na Figura 4.3 é exibido um fragmento de imagem CBERS-2, sensor WFI, mostrando a mesma região da Figura 4.2, possibilitando a comparação entre o resultado obtido pelos três sensores embarcados no CBERS-2. Dos três sensores, o WFI é o que possui a menor resolução espacial (260 metros), isto torna o mesmo, dentre os três, o sensor que utiliza menos recursos computacionais em um mapeamento da cobertura do solo ou de índices variados, já que um pixel do sensor WFI equivale a 169 pixels do CCD e um pouco mais de nove pixels no IRMSS.

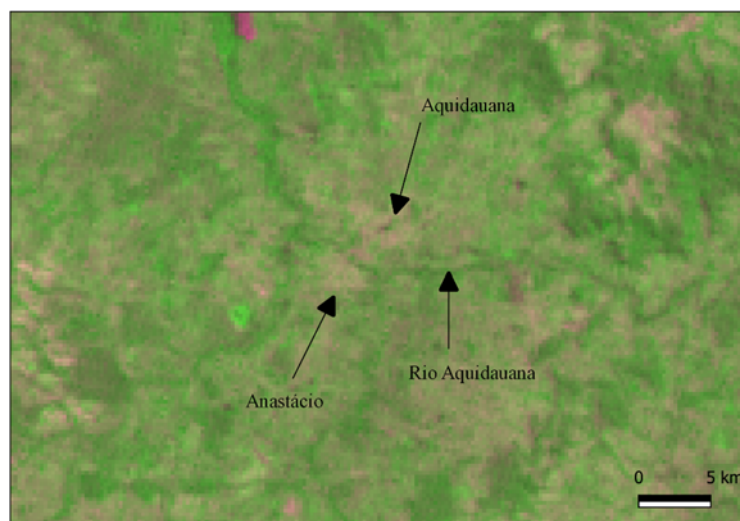


Figura 4.3. Fragmento de imagem CBERS-2B, WFI (INPE, 2008), com resolução espacial de 260 m, mostrando a região ao longo do Rio Aquidauana, entre as cidades de Aquidauana e Anastácio, MS, para fins de comparação com as imagens da Figura 4.2.



#### 4.1.4. O sensor HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução)

A câmera HRC amostra uma única faixa espectral, que cobre o visível e parte do infravermelho próximo, encontrando-se a bordo somente do satélite CBERS-2B. A faixa imageada por esse sensor é relativamente estreita (27 km), mas com altíssima resolução espacial (2,7 m), o que possibilita maior detalhamento da superfície em relação aos dados captados pela câmera CCD. Seu modo de operação está estabelecido em uma revisita de 130 dias, ou seja, com esta câmera só será possível ter duas coberturas completas do país (INPE, 2019b).

Entre suas principais aplicações podem ser mencionadas a geração de mosaicos nacionais ou estaduais detalhados, atualização de cartas temáticas e outros tipos de cartas, aplicações urbanas e de inteligência, geração de produtos para fins de planejamento local ou municipal (EMBRAPA, 2013). O sensor HRC é apropriado para estudos em grandes escalas, sendo comum sua aplicação em estudos de áreas urbanas. Na Figura 4.4 tem-se um exemplo de imagens HRC de resolução espacial de 2,7 m.

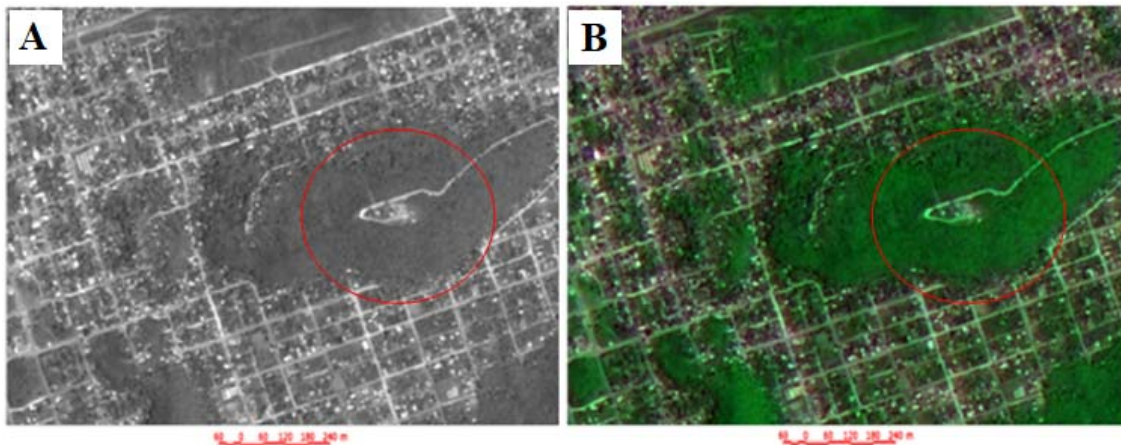


Figura 4.4. Imagem HRC (INPE, 2009a), com resolução espacial de 2,7 m, mostrando em contorno a região do morro São Felipe, conhecido também como morro do Cristo, em Corumbá-MS (A). Na B tem-se o resultado da fusão entre imagens dos sensores HRC e CCD (INPE, 2009b). A alta resolução espacial do HRC, combinado com as bandas multiespectrais do CCD, proporciona um produto de qualidade e sem nenhum custo. A técnica de fusão é utilizada para potencializar o uso e aplicação dos dados do sensor HRC.

#### 4.1.5. O sensor PAN (Câmera Pancromática e Multiespectral)

A câmera PAN tem uma faixa de imageamento de 60 km e resolução temporal de 52 dias (INPE, 2019b). O sensor possui quatro bandas espectrais, que envolvem o canal do visível e do infravermelho em diferentes resoluções espaciais. São três bandas espectrais de 10 m, duas amostrando o canal do visível no intervalo do verde e vermelho; e, uma no infravermelho próximo. A banda pancromática possui 5 m de resolução espacial, no intervalo de 0,51 a 0,85 micrômetros e é uma forma de continuar o imageamento em alta resolução iniciado com a câmera HRC do CBERS-2B. Para exemplificar a câmera PAN apresenta-se a Figura 4.5.

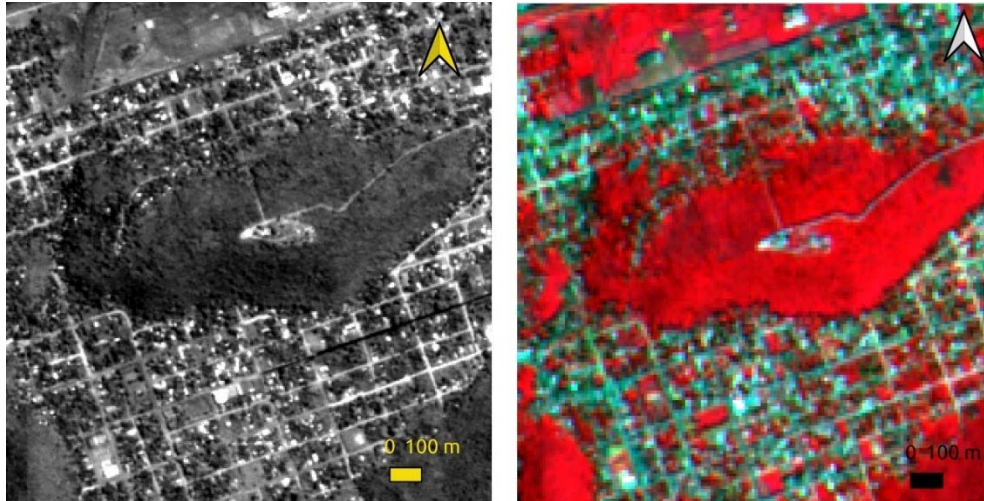


Figura 4.5. Imagem da câmera PAN do CBERS-4 (INPE, 2016a) mostrando a região do Morro São Felipe, conhecido também como Morro do Cristo, em Corumbá-MS. A imagem à esquerda é a banda pancromática de 5 m de resolução espacial; a imagem à direita é a composição falsa-cor B (vermelho), G (verde) e R (Infravermelho próximo) das bandas multiespectrais de 10 m de resolução espacial (INPE, 2016a).

#### 4.1.6. O sensor MUX (Câmera Multiespectral Regular)

A câmera MUX, produzida no Brasil, tem uma faixa de imageamento de 120 km e foi projetada para substituir o sensor CCD do CBERS-2B na geração de imagens de média resolução espacial. Assim como o CCD, o sensor possui uma resolução espacial de 20 m e é composto por quatro bandas espectrais; três bandas espectrais no canal do visível (azul, verde e vermelho) e uma banda infravermelho próximo (INPE, 2019b). A Figura 4.6 mostra uma imagem do sensor MUX em diferentes composições espectrais.

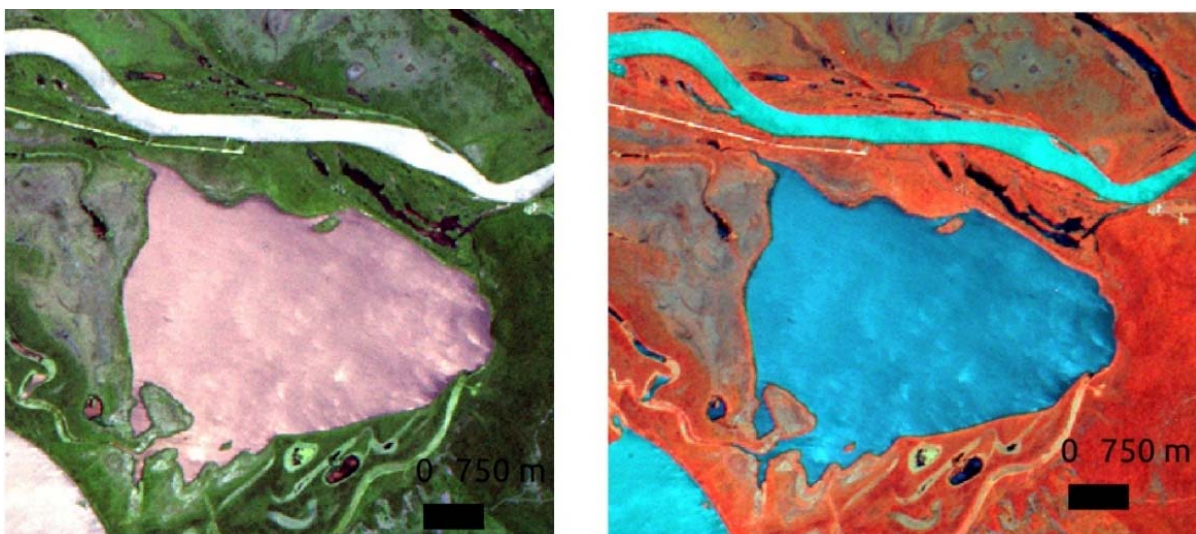


Figura 4.6. Imagem CBERS-4 da câmera MUX (INPE, 2016b), resolução espacial de 20 m. A área amostrada corresponde a Baía do Arroz, localizada no Pantanal. À esquerda tem-se a imagem em cor verdadeira e, à direita, tem-se a mesma imagem na composição B (vermelho), G (verde) e R (infravermelho próximo) (INPE, 2016b).

#### 4.1.7. O sensor IRS (Câmara Multiespectral e Termal)

A câmera IRS do CBERS-4 substitui a câmera IRMSS, presente em satélites da primeira geração CBERS. O IRS é composto por quatro bandas espectrais, sendo uma delas termal, uma pancromática e duas na faixa do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Em comparação ao IRMSS, o IRS teve sua resolução espacial melhorada, apresentando resolução espacial de 40 m nas bandas SWIR e PAN e 80 m na banda termal (INPE, 2019b).

## 4.2. Satélites TERRA E AQUA

As plataformas TERRA e AQUA foram lançadas em 1999 e 2002, respectivamente, como parte do programa da NASA denominado *Earth Observing System* (EOS – Sistema de Observação Terrestre). O principal objetivo dessas missões é contribuir para pesquisas sobre as interações que ocorrem entre a atmosfera, oceano e continente, como por exemplo, umidade e temperatura da atmosfera, precipitação, mudanças na cobertura e no uso das terras, dinâmica das vegetações, entre outros (EMBRAPA, 2020a, b).

A missão TERRA leva a bordo cinco instrumentos: ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), CERES (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*), MISR (*Multi-angle Imaging Spectroradiometer*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e MOPITT (*Measurements of Pollution in the Troposphere*). Esses sensores são empregados para analisar as mudanças do Planeta Terra, fornecendo dados para aplicações em segurança alimentar, monitoramento vulcânico, saúde pública e modelagem climática (NASA, 2020a).

Já a missão AQUA leva a bordo seis: AIRS (*Atmospheric Infrared Sounder*), AMSU-A (*Advanced Microwave Sounding Unit*), HSB (*Humidity Sounder for Brazil*), AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e CERES (*Cloud's and the Earth's Radiant Energy System*) (NASA, 2020b). Ela foi desenvolvida com o objetivo de estudar os fenômenos físicos relacionados à circulação da energia e da água na Terra (INPE, 2020b).

Dentre esses instrumentos, o MODIS é o principal sensor no programa. Por apresentar alta resolução temporal e espectral e moderada resolução espacial, o MODIS tem uma importância singular para diversos trabalhos, oferecendo uma base sistemática de dados na elaboração de produtos sobre interações entre atmosfera, terra e oceano.

#### 4.2.1. Sensor MODIS

O sensor opera em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$  e com resolução espacial entre 250 e 1000 metros. As imagens MODIS oferecem produtos sobre as interações entre atmosfera, terra e oceano. Sua utilização está associada à



medição de propriedades das nuvens, fluxo de energia radiante, mudança no uso e cobertura das terras, entre outras (EMBRAPA, 2020a).

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 são apresentadas algumas especificações desse sensor e os produtos MODIS e usos potenciais associados, respectivamente.

Tabela 4.3. Características do sensor MODIS (adaptado de EMBRAPA, 2020a).

Sensor	Resolução	Bandas	Faixa Imageada	Resolução Temporal
MODIS	250 m	1-2	10 – 2330 km	1 - 2 dias
	500 m	3-7		
	1000 m	8-36		

Tabela 4.4. Produtos MODIS e usos potenciais associados (adaptado de MUNDOGEO, 2012).

Balanco de energia e radiação da superfície	Produtos de vegetação e ecologia	Cobertura e uso da Terra
Reflectância (MOD09)	Índices de vegetação (MOD 13)	Mudanças na cobertura (MOD 12)
Temperatura da superfície (MOD 11)	Área foliar atividade fotossintética (MOD 15)	Cobertura vegetal (MOD 44)
Albedo (MOD 43)	Produtividade primária (MOD 17)	Anomalias termais / Fogo (MOD 14)

Os produtos gerados pelo sensor MODIS apresentam alguns aspectos que os tornam ainda mais interessantes. Além de estarem disponíveis gratuitamente na rede e de imagear extensas áreas, antes de serem fornecidos esses dados são corrigidos para efeitos atmosféricos e georreferenciados. Entre os vários produtos MODIS destacam-se as imagens de refletância, as imagens de uso da terra e os índices de vegetação (MUNDOGEO, 2012).

Na Figura 4.7 é exibido um fragmento de imagem MODIS, onde é possível identificar o leque do Rio Taquari, áreas de vegetação e de pastagens. Por apresentar resolução espacial de 250 m, esse sensor é capaz de imagear extensas áreas em uma mesma data, possibilitando a análise de aspectos como vegetação, solo e inundação sem a interferência das variações sazonais, o que melhora a qualidade dos produtos obtidos.

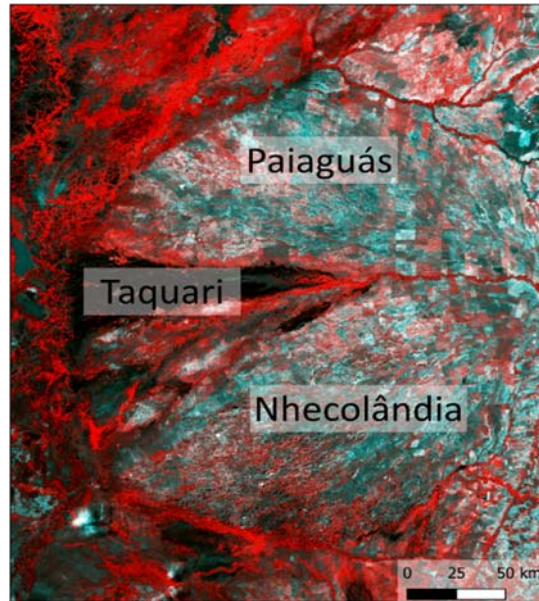


Figura 4.7. Imagens MODIS (NASA, 2010) da região do Leque do Taquari. Na composição falsa-cor utilizada (RGB 211) a vegetação é exibida em vermelho e os tons de azul escuro e preto representam a água. Por ser um sensor de moderada resolução espacial, para cobrir extensas regiões, como a da figura, são necessárias duas cenas. Caso fossem utilizadas imagens Landsat, seriam necessárias, no mínimo, 8 cenas.

### 4.3. LANDSAT 8

O Landsat 8 (abreviado como L8) foi lançado em fevereiro de 2013 e iniciou oficialmente sua operação em 30 de maio de 2013. As imagens desse satélite são disponibilizadas gratuitamente pelo site do USGS (*United States Geological Survey*), ([http://landsat.usgs.gov/LDCM\\_Landsat8.php](http://landsat.usgs.gov/LDCM_Landsat8.php)) para *download* através dos acessos *GloVis*, *Earth Explorer* e *Landsat Look Viewer* (USGS, 2017).

Sua resolução temporal é de 16 dias com dois sensores acoplados, o OLI – *Operational Land Imager* e o TIRS – *Thermal Infrared Sensor*. São nove bandas no sensor OLI e duas bandas no TIRS. As bandas TIRS foram adquiridas com 100 metros de resolução espacial, mas foram reamostradas para 30 m para a distribuição (USGS, 2017). Na Tabela 4.5 estão disponibilizadas as principais características desses sensores.

O Landsat 8 possui resolução radiométrica de 16 bits ( $2^{16}$ ), ou seja, possui 65.536 possíveis valores para o *digital number* contra 256 do Landsat 5 (L5). Suas imagens são de 30 m de resolução espacial, possuindo uma banda pancromática de 15 m de resolução espacial. Esta radiometria permite que este seja o satélite da série Landsat com maior quantidade de informações por *pixel*. Isso pode ser comprovado comparando-se a banda PAN do Landsat 7 (L7) com a PAN do Landsat 8, conforme Figura 4.8.



Tabela 4.5. Características dos sensores do OLI e TIRS (USGS, 2017).

Landsat 8 - Bandas	Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (metros)
Banda 1 - Costeira/Aerosol	0,43 - 0,45	30
Banda 2 - Azul	0,45 - 0,51	30
Banda 3 - Verde	0,53 - 0,59	30
Banda 4 - Vermelho	0,64 - 0,67	30
Banda 5 - Infravermelho próximo	0,85 - 0,88	30
Banda 6 - SWIR 1	1,57 - 1,65	30
Banda 7 - SWIR 2	2,11 - 2,29	30
Banda 8 - Pancromática	0,50 - 0,68	15
Banda 9 - Cirrus	1,36 - 1,38	30
Banda 10 - Infravermelho Termal (TIRS) 1	10,60 - 11,19	30/100
Banda 11 - Infravermelho Termal (TIRS) 2	11,50 - 12,51	30/100



PAN Landsat 7



PAN Landsat 8

Figura 4.8. Diferença entre os níveis de cinza entre as bandas PAN dos satélites L7 (GLCF, 2001) e L8 (USGS, 2013). Percebe-se que a PAN do L7 apresenta uma aparência embaçada, bem diferente da PAN do L8 que aparenta mais nítida. Em destaque, a Cidade de São Gabriel do Oeste-MS. A imagem Landsat 8 apresenta maior contraste entre os objetos, tornando-os mais evidentes e facilitando a delimitação de suas bordas e limites, assim como a diferenciação entre eles. Observando duas pontes da cidade, locais indicados através das setas, é possível constatar a diferença de contraste entre os dois sensores. Além de poder ser notado na vegetação, nas estradas, nos tanques e/ou açudes, etc.

Com a melhor resolução radiométrica da PAN do L8, os produtos fusionados também apresentam melhor qualidade. Isso pode ser visto na Figura 4.9. A radiometria de 16 bits do Landsat 8 pode ser muito explorada no estudo de áreas urbanas, isso porque as áreas

construídas apresentam luminosidade bem diferenciada com o sensor OLI do Landsat 8, tornando-se mais evidentes os pequenos centros urbanos.



Figura 4.9. Fusão da banda pancromática com as bandas multiespectrais 4, 5 e 7 do sensor OLI do satélite Landsat 8 (USGS, 2013). O local é o mesmo da Figura 4.8.

Para dar prosseguimento à família, está sendo desenvolvido o Landsat 9, o qual tem previsão de ser lançado em março de 2021, contando com dois instrumentos, o OLI-2 e o TIRS-2 (USGS, 2020).

#### 4.4. Sentinel-2A e Sentinel-2B

O Sentinel-2A foi lançado em 23 de junho de 2015 e juntou-se mais recentemente ao Sentinel-2B em 7 de março de 2017 como parte do programa de observação da Terra da Europa (OE) *Copernicus*, liderado pela Comissão Europeia, na qual a ESA (*European Space Agency*) é a coordenadora do componente espacial e opera a missão Sentinel-2. Os dados são de alta qualidade, pois o Sentinel-2 carrega um inovador imageador multiespectral de alta resolução (MSI) com 13 faixas espectrais, permitindo assim uma perspectiva sem precedentes em nossa terra e vegetação (ESA, 2012).

A combinação de alta resolução espacial (até 10 m), novos recursos espectrais (por exemplo, três bandas na borda vermelha), ampla cobertura (largura da faixa de 290 km) e tempo de revisita de dez dias (cinco dias a partir de 2016 após o lançamento do Sentinel-2B) fornecerá informações extremamente úteis para uma ampla variedade de aplicativos. A missão fornecerá, por exemplo, informações sobre práticas agrícolas e florestais e o monitoramento de recursos naturais e distúrbios (ESA, 2012).

As bandas espectrais são particularmente adequadas para avaliar importantes variáveis estruturais e bioquímicas da vegetação, além de monitorar o crescimento das plantas e o *status/saúde* da vegetação. O Sentinel-2 também pode ser usado para mapear mudanças na

cobertura e uso da terra. Também fornecerá informações sobre o status de lagos e águas costeiras, neve e gelo. Imagens de inundações, erupções vulcânicas e deslizamentos de terra devem contribuir para o mapeamento de desastres e ajudar os esforços de ajuda humanitária (ESA, 2012).

A missão Sentinel-2 consiste em dois satélites idênticos e com unidades de satélite recorrentes, garantindo observações operacionais de longo prazo pelos próximos 20 anos. Todos os dados da missão estão disponíveis para os usuários sob uma política de dados livre e aberta, que sustenta o desenvolvimento de aplicativos de EO sustentáveis e de longo prazo. As imagens Sentinel-2 podem ser adquiridas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) no seguinte link: <https://earthexplorer.usgs.gov/> e, também, no site da Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Na Figura 4.10 são ilustradas características do Landsat e SPOT comparando com o Sentinel-2. Já na Tabela 4.6 estão ilustradas as informações de resolução espectral e de quais bandas estão disponíveis para o satélite Sentinel-2.

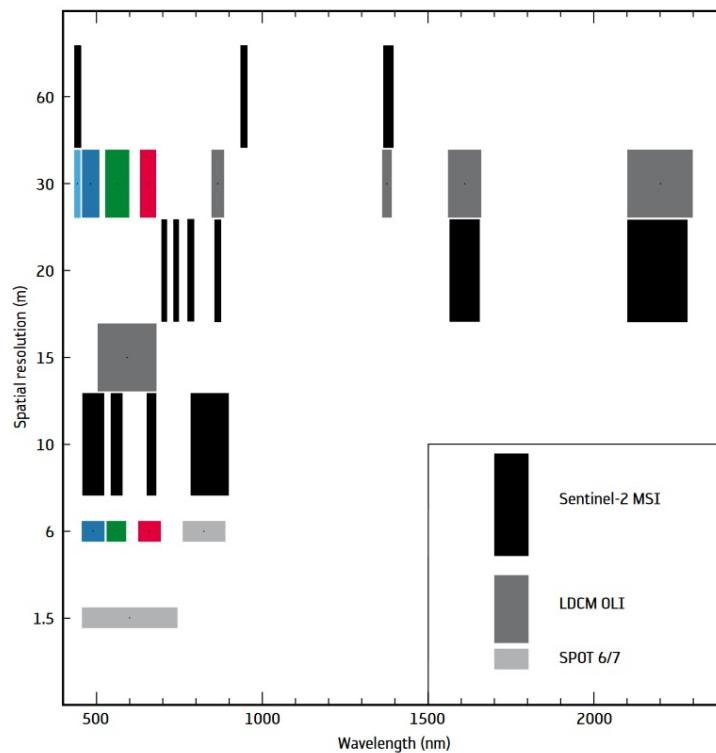


Figura 4.10. Principais características do Landsat, SPOT e Sentinel-2 (painel principal) e a resolução espectral e as configurações de banda dos instrumentos *MultiSpectral Instrument* (MSI), *Operational Land Imager* (OLI) e SPOT (inserção, canto inferior direito) (ESA, 2012).

Na Figura 4.11, vemos um exemplo de imagem do Sentinel-2 com resolução de 10 m (USGS, 2019). A vegetação em vermelho (composição falsa-cor), está bem nítida, podendo ser realizado com maior eficiência índices de vegetação.

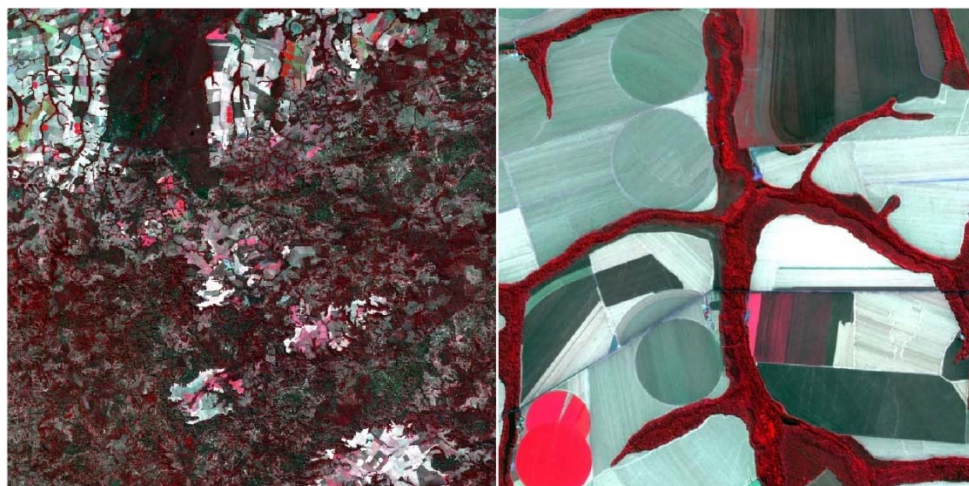


Figura 4.11. Composição falsa-cor com as bandas RED, BLUE, GREEN e NIR do satélite Sentinel-2 com resolução 10 m (USGS, 2019).

Tabela 4.6. Informações de resolução espectral das diferentes faixas do espectro disponíveis no satélite Sentinel-2. As bandas com 60 m de resolução espacial são mais indicadas a estudos atmosféricos, enquanto as bandas Red Edge são indicadas a estudos de vegetação. De qualquer forma, a gama de bandas espectrais do Sentinel-2 permite uma diversidade de uso e aplicação em estudos terrestres (adaptado de ENGESAT, 2020).

Resolução	Nº da banda	Nome da banda	Comprimento de onda central (nanômetro)	Combinações de banda
10 m	B02	Blue (azul)	490	Cor verdadeira RGB-04/03/02; Falsa cor 1 e 2 RGB-08/04/03 e RGB-04/08/03
	B03	Green (verde)	560	
	B04	Red (vermelho)	665	
	B08	NIR (infravermelho próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB-12/11/08A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	-
	B09	Water vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	



## 4.5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos das Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 4.6. Referências Bibliográficas

- AEB. Agência Espacial Brasileira. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Brasil e China ampliam acordo de satélites e países africanos receberão dados do CBERS**. 2009. Disponível em: <http://portal-antigo.aeb.gov.br/brasil-e-china-ampliam-acordo-de-satelites-e-paises-africanos-receberao-dados-do-cbers/>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. 2013. Disponível em: [https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_cbers.html](https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_cbers.html). Acesso em: 27 jun. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **AQUA – Aqua Project Science**. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/aqua#modis>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **TERRA – Earth Observing System**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/terra#misr>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- ENGESAT. Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento. **Sentinel-2**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- ESA. European Space Agency. **Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services**. ESA SP-1322. Leiden: Netherlands, ESA Communications, 2012. 70 p. Disponível em: [https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2\\_SP-1322\\_2.pdf](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf). Acesso em: 27 jun. 2020.
- GLCF. Global Land Cover Facility. **Imagem LANDSAT 7**. Sensor ETM+. Canal 8. Órbita 225 ponto 073. De 17 de agosto de 2001. 2001. Disponível em: <http://glcf.umd.edu/>. Acesso em: 10 out. 2013.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS 2**. Sensor IRMSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 163 ponto 123. De 18 de agosto de 2004. 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 10 out. 2013.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-2**. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. 2005. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Acesso em: 10 out. 2013.



INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-2B**. Sensor WFI. Canais 1 e 2. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 165 ponto 124. De 24 de agosto de 2008. 2008. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Acesso em: 10 out. 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-2B**. Sensor HRC. Canal 1. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 167 ponto 121. De 21 de janeiro de 2009. 2009a. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Acesso em: 06 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-2B**. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 167 ponto 121. De 21 de janeiro de 2009. 2009b. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Acesso em: 06 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-4**. Sensor PAN. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 167 ponto 121. De 23 de janeiro de 2016. 2016a. Acesso em: 06 jun. 2020. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br).

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS-4**. Sensor MUX. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 167 ponto 121. De 23 de janeiro de 2016. 2016b. Disponível em: [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Acesso em: 06 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **História**. 2018. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/historia.php>. Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS 04A**. 2019a. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>. Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Câmeras Imageadoras CBERS-3 e 4**. 2019b. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbbers3-4.php>. Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Usos e Aplicações**. 2019c. Disponível em: [http://www.cbbers.inpe.br/sobre/ usos\\_aplicacoes.php](http://www.cbbers.inpe.br/sobre/ usos_aplicacoes.php). Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. 2020a. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/cbbers/capa-cbbers>. Acesso em: 27 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **AQUA – Aqua Project Science**. 2020b. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/aqua>. Acesso em: 27 jun. 2020.

MUNDOGEO. **O Sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua**. 2012. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2004/05/23/o-sensor-modis-a-bordo-das-plataformas-terra-e-acqua/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Imagens MODIS**. Sensor AQUA. Canais 1 e 2. De 12 de outubro de 2010. 2010. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 06 jun. 2020.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **TERRA – The EOS Flagship**. 2020a. Disponível em: <https://terra.nasa.gov/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Aqua Project Science**. 2020b. Disponível em: <https://aqua.nasa.gov/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem LANDSAT 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Imagem de Satélite. Órbita 225 ponto 073. De 25 de julho de 2013. 2013. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 06 jun. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8**. Landsat Missions. 2017. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em: 27 jun. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Sentinel-2B**. Canais 2, 3, 4 e 8. Produto S2B\_MSIL1C\_20190728T135119\_N0208\_R024\_T21LZC\_20190728T153049.SAFE. De 28 de julho de 2019. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 02 jun. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 9**. Landsat Missions. 2020. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-9?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-9?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em: 27 jun. 2020.

# Sensoriamento Remoto e Cartografia Aplicada

Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, José Marcato Junior<sup>2</sup>, Fabrício dos Santos Prol<sup>3</sup>, Antonio Maria Garcia Tommaselli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>3</sup>Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>4</sup>Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

O processo de georreferenciamento de imagens de Sensoriamento Remoto utiliza um conjunto de técnicas associadas à cartografia. Para uma melhor compreensão dos processos de correção geométrica e ortorretificação de imagens, apresenta-se uma descrição dos sistemas de coordenadas e projeções cartográficas e discute-se acerca do Mapeamento Sistemático do Território Brasileiro. Discute-se também sobre a relação existente entre resolução espacial, escala e PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e, por fim, apresenta-se a definição e descrição dos termos georreferenciamento e registro.

## 5.1. Sistemas de Coordenadas e Projeções

### 5.1.1. Sistemas de Coordenadas da Imagem

A localização de um *pixel* em uma imagem (no arquivo da imagem) é expressa utilizando-se um sistema de coordenadas. Em um sistema bidimensional de coordenadas, as posições são organizadas em uma grade de colunas e linhas. Cada posição é expressa como um par de coordenadas  $x$  e  $y$ . A coordenada  $x$  especifica a coluna do *grid* e  $y$  a linha. Dados de imagens organizados de tal forma são conhecidos como dados *raster* (mais informações no Capítulo 8.2. Raster e Vetorial).

Existem dois tipos básicos de sistemas de coordenadas usados pelos arquivos de imagens de satélite:

**COORDENADAS DE ARQUIVO:** indicam a posição do *pixel* dentro da imagem (arquivo de dados - Figura 5.1).

**COORDENADAS DE MAPA:** indicam a localização do *pixel* no arquivo relacionando-a com as coordenadas de terreno, em um dos diferentes sistemas de projeção cartográfica.

		colunas (x)				
		0	1	2	3	4
linhas (y)	0					
	1					
	2				x = 3 y = 2	
	3					

Figura 5.1. Exemplo de sistema de coordenadas de arquivo. Para muitos sistemas a sua origem (0,0) é o centro do *pixel* do canto superior esquerdo da imagem.

É possível a conversão das imagens de um sistema de coordenadas para outro. Este processo é chamado reprojeção e pode implicar em uma reamostragem ("redesenho") *pixel* a *pixel* da imagem.

### 5.1.2. Sistema de Coordenadas do Terreno

#### 5.1.2.1. Datum

Neste contexto há um outro conceito cujo detalhamento se faz necessário: *datum*. A posição de um ponto não é uma quantidade observável nem absoluta. Os pontos devem ser determinados com respeito a alguma referência. O *datum* é um conjunto de parâmetros e constantes que definem um sistema de coordenadas para o controle geodésico horizontal e vertical (JEKELI, 2012).

As etapas de definição, materialização, densificação e manutenção deste sistema são necessárias. A definição consiste em determinar: as constantes e padrões numéricos do *datum*; os modelos matemáticos e físicos na solução do sistema de coordenadas, bem como a origem, escala e orientação dos eixos de coordenadas; a superfície matemática que represente a superfície terrestre; o sistema de tempo adotado, dentre outras definições. As convenções do IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) apresentam os padrões de um sistema de referência que definem o *datum* internacionalmente utilizado pela comunidade geodésica e podem ser acessadas no seguinte endereço eletrônico: <<http://www.iers.org>>. A materialização, ou realização, consiste na solução de um conjunto de estações geodésicas com suas respectivas coordenadas, velocidades e precisões disponíveis aos usuários. A densificação constitui em aumentar a densidade de estações da rede geodésica. A manutenção é a etapa destinada a manter os pontos acessíveis para os usuários. Existem dois tipos de *datums*: planimétrico e altimétrico.

#### *Datum* Planimétrico:

Há alguns anos, o *datum* planimétrico (ou horizontal) mais utilizado era materializado a partir de medições astro-geodésicas e proporcionava a latitude, longitude e orientação inicial de um ponto, que era a origem do *datum*. O transporte da latitude e longitude para os demais pontos era feito por meio de métodos clássicos de levantamento geodésico, como poligonação,

triangulação e trilateração. No Brasil, tais pontos são identificados como Vértices de Triangulação (GEMAEL, 2002).

Atualmente, o *datum* planimétrico é, também, constituído por um conjunto de pontos mapeados com origem no geocentro. Via senso prático, o *datum* planimétrico requer a definição de pontos com duas dimensões, em latitude e longitude (ver Seção 5.1.2.2). No entanto, a superfície geométrica dos pontos referenciados ao geocentro requer a definição em um sistema cartesiano tridimensional. Assim, é possível obter coordenadas cartesianas tridimensionais em um único processo, como no caso do posicionamento por satélite do GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

No Brasil, as normas a serem observadas por todas as entidades públicas e privadas produtoras e usuárias de serviços cartográficos, de natureza cartográfica e atividades correlatas, sob a denominação de Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Lei nº 89.817 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional; BRASIL, 1984, 2005; IBGE, 2005), estabelece como *datum* padrão o SIRGAS 2000:

Com esta finalidade, fica estabelecido como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional - SCN, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000). Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD 69. Para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), o SIRGAS2000 também poderá ser utilizado em concomitância com os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre, conforme os parâmetros definidos nesta Resolução. A coexistência entre estes sistemas tem por finalidade oferecer à sociedade um período de transição antes da adoção do SIRGAS2000 em caráter exclusivo. Neste período de transição, não superior a dez anos, os usuários deverão adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema (BRASIL, 2005).

Aqui cabem ainda algumas colocações: esta alteração foi feita para adequação do Sistema Geodésico Brasileiro aos novos sistemas de navegação por satélite. Porém, em alguns estados brasileiros, a base cartográfica disponível ainda é aquela elaborada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e antiga DSG (Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro), elaborada nos anos 1960, quando o *datum* oficial era o Córrego Alegre. Além deste *datum*, podem ser encontradas cartas produzidas em SAD 69 (*South American Datum* de 1969). Por sua vez, os valores de SAD 69 foram recalculados em 1996, sendo chamado muitas vezes de SAD 69-1996, ou simplesmente SAD 69-96.

Assim, é possível encontrar bases cartográficas oficiais no atual *datum* SIRGAS 2000, em Córrego Alegre, SAD 69 e SAD 69-96, sendo que apenas até 2015 a coexistência destes *datums* era aceita do ponto de vista legal. No Brasil, para realizar a transformação de coordenadas desses diversos referenciais para o SIRGAS2000 utiliza-se o programa ProGrid (IBGE, 2009) disponibilizado no site do IBGE.

#### *Datum Altimétrico ou Vertical:*

Sua finalidade é estabelecer a origem vertical e referenciar as altitudes dos pontos ao nível médio dos mares não perturbados (ver Seção 5.1.3.). Tal relação é feita por meio das



altitudes ortométricas, que atendem conceitos como “alto” e “baixo” ao fluxo de água, por meio do campo de gravidade. No Brasil, a rede altimétrica é composta por pontos identificados como RN (referência de nível) e o transporte de um vértice de referência é normalmente realizado por nivelamento geométrico associado à gravimetria. Para todo o Brasil, utiliza-se o *datum* vertical de Imbituba (Santa Catarina), com exceção do Amapá que usa o Porto de Santana e não está conectado ao resto da rede brasileira (IBGE, 1999).

Destaca-se que o posicionamento GNSS proporciona a altitude geométrica, referenciada à superfície elipsoidal. Gemael (2002) aponta que “muito embora o impacto revolucionário do GPS (*Global Positioning System*) tenha relegado a planos inferiores vários segmentos da Geodésia utilizados há mais de dois séculos, este não alcançou os estudos relativos ao campo gravitacional (GEMAEL, 2002).”

A conversão da altitude geométrica para ortométrica é feita por meio de modelos geoidais. O IBGE, por intermédio da Coordenação de Geodésia e da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, gerou um modelo de ondulação geoidal para o Brasil e disponibiliza o programa MAPGEO2010 (IBGE, 2010), que permite interpolar a ondulação geoidal. Com a altitude geométrica ( $h$ ) e a ondulação geoidal ( $\bar{N}$ ), obtém-se a altitude ortométrica ( $H$ ) por meio da seguinte expressão (MONICO, 2008):  $H = h - \bar{N}$ .

#### 5.1.2.2. Latitude e Longitude Geodésicas

Em função da natureza da superfície de referência básica utilizada nos problemas geodésicos, é conveniente a utilização de coordenadas elipsoidais ao invés de coordenadas cartesianas (ver Seção 5.1.2.3.). É mais intuitivo, como exemplo na navegação e leitura de mapas, reconhecer posições em relação ao globo dadas em Latitude e Longitude, a posições em sistemas cartesianos em X, Y e Z. A Figura 5.2 ilustra a representação da latitude ( $\varphi$ ) e longitude ( $\lambda$ ) geodésicas do ponto P.

A longitude geodésica é o ângulo formado entre o plano do meridiano origem (*Greenwich*) e o plano do meridiano do ponto P, contado ao longo do Equador. Em alguns casos considera-se a longitude de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  crescente para leste, porém, habitualmente utiliza-se variando de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  para Leste e de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  para Oeste. A latitude geodésica é o ângulo formado entre o paralelo origem (Equador) e o ponto P, contado ao longo do meridiano do lugar onde P é projetado no elipsoide, variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  no sentido Norte e  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  no sentido Sul. Atualmente, o elipsoide recomendado pela IAG (*International Association of Geodesy*) é o GRS80, o qual é adotado pelo SIRGAS 2000. Este elipsoide é definido pelas seguintes constantes (MORITZ, 1980):

$$a = 6378137,0m ;$$

$$f = 1 / 298,257222101 ;$$

$$f = \frac{a - b}{a} .$$

Em que:

- $a$  é o semi-eixo maior do elipsoide (Figura 5.2);
- $b$  é o semi-eixo menor do elipsoide (Figura 5.2);
- $f$  é o achatamento do elipsoide.

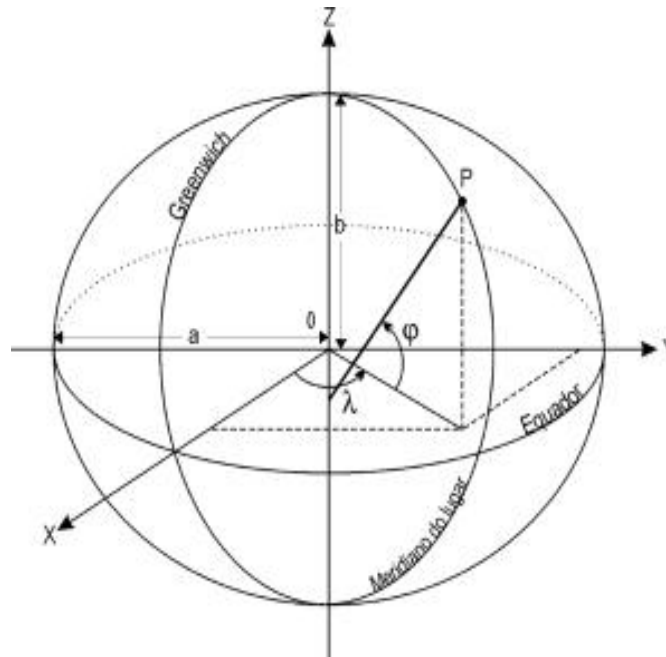


Figura 5.2. Latitude e Longitude geodésicas do ponto P (adaptado de RAPP, 1991).

### 5.1.2.3. Coordenadas Cartesianas Geocêntricas

As coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) se referem a um sistema geodésico de referência com origem do elipsoide coincidente com o centro de massa da Terra. O WGS-84 (*World Geodetic System* de 1984) é um referencial geocêntrico e é o sistema de referência adotado pelo GPS. Cabe ressaltar que o SIRGAS, adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro, apresenta compatibilidade com as últimas realizações do WGS-84 (MONICO, 2008).

O WGS-84 possui origem no centro de massa da Terra; o eixo OZ aponta para o Pólo Norte CTP (*Conventional Terrestrial Pole*), conforme definido pelo BIH1984 (*Bureau International de L'Heure*); o eixo OX aponta para o meridiano origem (longitude 0°), conforme definido pelo BIH1984 e; o eixo OY completa o sistema de forma que seja dextrogiro (MONICO, 2008). A Figura 5.2 ilustra também este sistema de coordenadas. Para realizar a transformação das coordenadas latitude e longitude geodésicas para coordenadas cartesianas (X, Y, Z), utilizam-se as seguintes equações (MONICO, 2008):

$$X = (N + h) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\lambda) \quad (\text{V.1})$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos(\varphi) \cdot \text{sen}(\lambda) \quad (\text{V.2})$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \text{sen}(\varphi) \quad (\text{V.3})$$

Em que:

- $h$  é a altitude geométrica (com relação ao elipsoide) do ponto;
- $N$  é a grande normal do elipsoide passando pelo ponto de coordenadas geodésicas  $(\varphi, \lambda)$ , dada por:  $N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}$ ;
- $a$  é o comprimento do semieixo maior do elipsoide de referência adotado;
- $e^2$  é o quadrado da primeira excentricidade do elipsoide, dado por  $e^2 = 2 \cdot f - f^2$ ;
- $f$  é o valor do achatamento do elipsoide de referência adotado.

#### 5.1.2.4. Coordenadas Cartesianas Locais

O sistema de referência geodésico cartesiano local, conforme Figura 3, é definido da seguinte forma:

- Origem ( $O_L$ ) é estabelecida sobre a normal ao elipsoide passando pela estação de observação, e, geralmente, é considerada sobre o elipsoide, geoide ou nas imediações da superfície física;
- eixo  $OZ_L$  é coincidente com a normal ao elipsoide na origem;
- eixo  $OY_L$ , tangente ao meridiano de origem, aponta para o norte geodésico;
- eixo  $OX_L$  é definido de forma a tornar o SRGCL um sistema dextrogiro.

Na transformação do sistema geodésico cartesiano  $(X, Y, Z)$  para o sistema geodésico cartesiano local, utiliza-se um modelo baseado em rotações e translações, dado por:

$$\begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} = R_L \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (V.4)$$

Em que:

- $(X, Y, Z)$  são as coordenadas de um ponto  $P$  no referencial geodésico cartesiano;
- $(X_L, Y_L, Z_L)$  são as coordenadas de um ponto no referencial cartesiano local;
- $(\varphi_0, \lambda_0)$  são as coordenadas geodésicas da origem do sistema local;
- $(X_0, Y_0, Z_0)$  são as coordenadas geodésicas cartesianas da origem do sistema local. A transformação de coordenadas geodésicas para coordenadas cartesianas geodésicas se encontra na Seção 5.1.2.3.;
- $R_L = R_1(90^\circ - \varphi_0) \cdot R_3(90^\circ + \lambda_0)$ .  $R_3$  e  $R_2$  são matrizes de rotação (Equações V.5 e V.6) (ANDRADE, 1998).

$$R_3(90^\circ + \lambda_0) = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\cos(\lambda_0) & -\text{sen}(\lambda_0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{V.5})$$

$$R_1(90^\circ - \phi_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen}(\phi_0) & \cos(\phi_0) \\ 0 & -\cos(\phi_0) & \text{sen}(\phi_0) \end{bmatrix} \quad (\text{V.6})$$

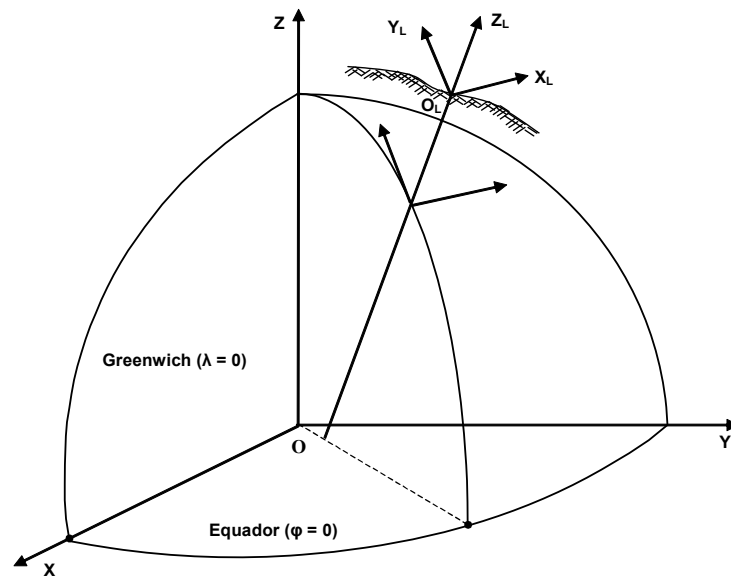


Figura 5.3. Referencial geodésico cartesiano local (adaptado de LUGNANI, 1987).

Para realizar a transformação inversa, aplica-se:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + R_L^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} \quad (\text{V.7})$$

De acordo com 3ª edição da norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrárias), as coordenadas dos limites das propriedades devem estar referenciadas ao sistema geodésico cartesiano local (INCRA, 2013).

### 5.1.3. Projeções Cartográficas

Câmara et al. (2001) explicam que todos os mapas são representações aproximadas da superfície terrestre. Isto ocorre porque não se pode passar de uma superfície curvilínea para

uma superfície plana sem que haja deformações. Por isso os mapas preservam certas características ao mesmo tempo em que alteram outras.

Assim, deve-se entender as três superfícies (Figura 5.4) envolvidas na produção cartográfica (IBGE, 1999):

- **GEOIDE:** conceito introduzido por Carl Friedrich Gauss, representa a superfície equipotencial que leva em conta a gravidade e rotação da Terra. O geóide tem o potencial gravitacional constante em todos os pontos de sua superfície. A gravidade não é uniforme na superfície do planeta, mas pode-se, a grosso modo, considerar que o geóide é a extensão do nível médio homogêneo dos mares através dos continentes. A materialização do geóide é realizada por meio da determinação do nível médio dos mares (NMM) do local. Para tanto, é necessário monitorar a variação do nível do mar instantâneo, que é geralmente realizado por intermédio de uma régua de marés em marégrafos. A partir de uma série de medidas do nível do mar por longos anos, é possível definir o NMM e determinar a diferença de nível entre o marégrafo e uma RN próxima, a fim de materializar um ponto, *datum* vertical. A partir do transporte de coordenadas com relação a este ponto, é possível referenciar toda uma rede ao NMM medido, ou seja, ao geóide.
- **ELIPSOIDE:** a Terra, ao girar em torno de seu eixo menor, descreve um elipsoide de revolução achatado nos pólos. O elipsoide é a superfície de referência utilizada nos cálculos que fornecem subsídios para a elaboração de uma representação cartográfica.
- **SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA:** ou Superfície Real, corresponde à superfície da Terra, desnivelada e irregular. Porém é a superfície amostrada nas imagens de sensoriamento remoto e onde se processam as operações topográficas e geodésicas.

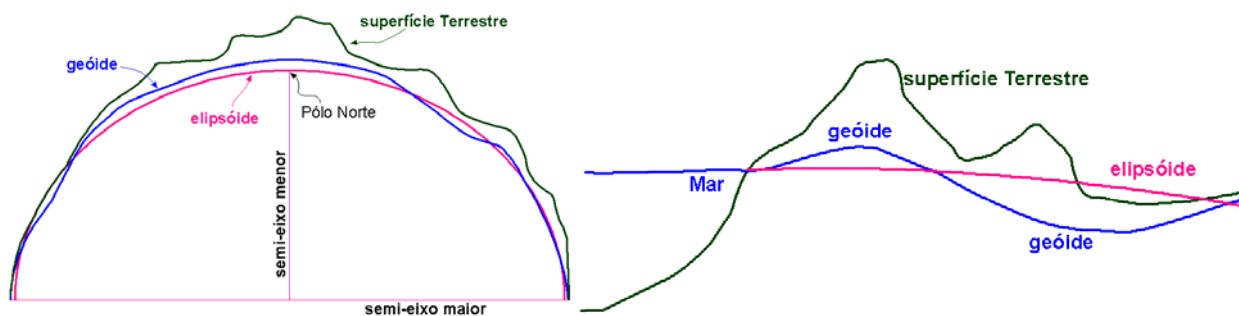


Figura 5.4. As três superfícies relacionadas com a construção de um mapa (com exagero) e em detalhe abaixo.

Lillesand et al. (2004) explicam que não é possível se representar de forma precisa a superfície tridimensional terrestre em uma superfície bidimensional planar de um mapa ou imagem sem que haja distorção em um dos seguintes elementos: forma, tamanho, distância e direção.

Deste modo, a elaboração de um mapa requer um método que estabeleça uma relação entre os pontos da superfície da Terra e seus correspondentes no plano de projeção do mapa.



Para se obter essa correspondência, são utilizados os sistemas de projeções cartográficas (CÂMARA et al., 2001; LILLESAND et al., 2004).

Há um número grande de diferentes projeções cartográficas, uma vez que há vários modos de se projetar os objetos geográficos que caracterizam a superfície terrestre sobre um plano. Consequentemente, torna-se necessário classificá-las de acordo com diversos aspectos com a finalidade de melhor estudá-las.

Analisam-se os sistemas de projeções cartográficas pelo tipo de superfície de projeção adotada e pelas propriedades de deformação que as caracterizam. Quanto ao tipo de superfície de projeção adotada, classificam-se as projeções em: planas ou azimutais, cilíndricas, cônicas e poliédricas, segundo se represente a superfície curva da Terra sobre um plano, um cilindro, um cone ou um poliedro tangente ou secante a Terra. Seguem algumas descrições (CÂMARA et al., 2001).

#### 5.1.3.1. Projeção Plana ou Azimutal

Constrói-se o mapa utilizando-se uma superfície de projeção plana tangente ou secante a um ponto na superfície da Terra, como na Figura 5.5.

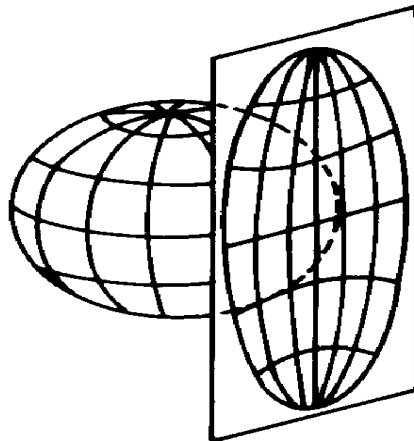


Figura 5.5. Exemplo de projeção azimutal (CÂMARA et al., 2001).

#### 5.1.3.2. Projeção Cônica

A superfície de projeção usada é um cone que envolve a Terra e que, em seguida, é desenvolvido num plano. As projeções cônicas podem ser tangentes ou secantes. A Figura 5.6 apresenta um exemplo de projeção cônica. Em todas as projeções cônicas normais (eixo do cone coincidente com o eixo de rotação da Terra) os meridianos são retas que convergem para um ponto (que representa o vértice do cone) e todos os paralelos são circunferências concêntricas a esse ponto.

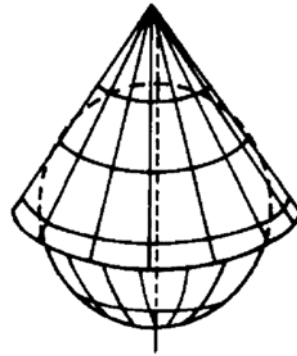


Figura 5.6. Exemplo da projeção cônica de Lambert (CÂMARA et al., 2001).

### 5.1.3.3. Projeção Cilíndrica

Usa-se um cilindro tangente ou secante à superfície da Terra como superfície de projeção. Em seguida, desenvolve-se o cilindro num plano. Em todas as projeções cilíndricas normais (eixo do cilindro coincidente com o eixo de rotação da Terra), os meridianos e os paralelos são representados por retas perpendiculares. A projeção de Mercator, uma das mais antigas e importantes, é um exemplo de projeção cilíndrica. Na Figura 5.7 é apresentada uma comparação da representação de um quarto de hemisfério segundo diferentes sistemas de projeção.



Figura 5.7. Comparação entre diferentes sistemas de projeção (CÂMARA et al., 2001).

### 5.1.3.4. Projeções Conformes ou Isogonais

São as projeções que mantêm os ângulos ou as formas de pequenas feições. Convém lembrar que a manutenção dos ângulos acarreta uma distorção no tamanho dos objetos no mapa. As projeções de Mercator e UTM têm a característica de conformidade.

A projeção de Mercator é muito usada em navegação porque representa as linhas de azimute constante como linhas retas. Entretanto, distorce bastante o tamanho dos objetos situados nas proximidades das regiões polares.

### 5.1.3.5. Projeções Equivalentes ou Isométricas

São projeções que conservam as áreas (não há deformação de área). Como consequência, os ângulos sofrem deformações. Muitos consideram que estas são as projeções mais adequadas

para uso em SIG. Como exemplos pode-se citar as projeções Cônica de Albers e Azimutal de Lambert.

### 5.1.3.6. Projeções Equidistantes

As projeções equidistantes conservam a proporção entre as distâncias, em determinadas direções, na superfície representada. Convém reforçar a ideia de que a equidistância, ao contrário da conformidade ou da equivalência, não é uma característica global de toda a área mapeada. O exemplo mais comum de projeção equidistante é a projeção cilíndrica equidistante.

Uma comparação entre as diferentes projeções é mostrada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Principais projeções, sua classificação, suas aplicações e características (CÂMARA et al., 2001).

Projeção	Classificação	Aplicações	Características
Albers	Cônica Equivalente	Mapeamentos temáticos Mapeamento de áreas com extensão predominante leste-oeste.	Preserva área. Substitui com vantagens todas as outras cônicas equivalentes.
Bipolar Oblíqua	Cônica Conforme	Indicada para base cartográfica confiável dos continentes americanos.	Preserva ângulos. Usa dois cones oblíquos.
Cilíndrica Equidistante	Cilíndrica Equidistante	Mapas <i>Mundi</i> . Mapas em escala pequena. Trabalhos computacionais.	Altera área e ângulos.
Gauss-Krüger	Cilíndrica Conforme	Cartas topográficas antigas.	Altera área (porém as distorções não ultrapassam 0,5%). Preserva os ângulos.
Estereográfica Polar	Azimutal Conforme	Mapeamento das regiões polares. Mapeamento da Lua, Marte e Mercúrio.	Preserva ângulos. Tem distorções de escala.
Lambert	Cônica Conforme	Mapas temáticos. Mapas políticos. Cartas militares. Cartas aeronáuticas.	Preserva ângulos.
Lambert Million	Cônica Conforme	Cartas ao milionésimo.	Preserva ângulos.
Mercator	Cilíndrica Conforme	Cartas náuticas. Mapas geológicos. Mapas magnéticos. Mapas <i>Mundi</i> .	Preserva ângulos.
Miller	Cilíndrica	Mapas <i>Mundi</i> . Mapas em escalas pequenas.	Altera área e ângulos.
Policônica	Cônica	Mapeamento temático em escalas pequenas.	Altera área e ângulos.
UTM	Cilíndrica Conforme	Mapeamento básico em escalas médias e grandes. Cartas topográficas.	Preserva ângulos. Altera área (porém as distorções não ultrapassam 0,5%).

## 5.2. Correção Geométrica

Quando da obtenção da imagem de satélite, devido à curvatura terrestre e ao relevo, o intervalo de amostragem por toda a imagem não é uniforme. Devido à órbita do satélite próxima aos pólos (e não exatamente polar), a orientação da imagem não é perfeitamente norte-sul e,

portanto, as linhas de amostragem não são exatamente leste/oeste. Além disto, devido à rotação terrestre, as feições ortogonais do terreno não o serão sobre a imagem. Além destas, existe um efeito de arraste gerado pelo mecanismo de varredura do escaner do sensor. Estas distorções podem ser modeladas e sistematicamente corrigidas. Parte deste erro já vem corrigido pelas agências distribuidoras das imagens. A Tabela 5.2 apresenta os diferentes níveis de processamento das imagens CBERS. As imagens CBERS são disponibilizadas para *download* no site do INPE com o nível 2 de processamento.

Tabela 5.2. Níveis de processamento das imagens CBERS (SILVA, 2007).

Níveis de Processamento	Descrição
Nível 0	Imagem em estado bruto
Nível 1	Imagem com correção radiométrica (calibração e restauração do sinal transmitido)
Nível 2	Imagem do nível 1 com correção geométrica, aplicada com o uso de dados orbitais, de informações sobre a montagem do instrumento no satélite, da geometria de visada do instrumento e de um modelo representativo da superfície terrestre.
Nível 3	Imagem do nível 2 geometricamente refinada com o uso de pontos de controle
Nível 4	Imagem do nível 2 ortorretificada com o uso de um MDT (Modelo Digital do Terreno) ou MNET (Modelo Numérico de elevação do Terreno).

O programa CBERS se diferencia dos demais sistemas por prover as imagens gratuitamente aos usuários. No entanto, para os programas comerciais, imagens com níveis maiores de processamento implicam em um custo maior para o usuário.

O processo de correção geométrica é matemático e envolve a aplicação de uma grade (*grid*) corrigida sobre a imagem distorcida, reposicionando-a, por reamostragem, *pixel a pixel*, de acordo com este *grid* de referência (com um sistema de coordenadas de terreno), fazendo com que os *pixels* armazenem as novas informações de posicionamento geográfico (Figura 5.8).

Os modelos matemáticos para o georreferenciamento de imagens coletadas por sensores orbitais podem ser divididos, genericamente, em dois grupos: os modelos rigorosos (ou físicos), que são baseados em parâmetros físicos e; os modelos generalizados (KIM e DOWMAN, 2006), também chamados de empíricos (TOUTIN, 2004) ou genéricos (AKSAKAL-KOCAMAN, 2008), que não descrevem fisicamente a tomada da imagem, como as funções racionais (RPF- *Rational Polynomial Function*), a transformação linear direta (DLT - *Direct Linear Transformation*), a projeção paralela, a transformação afim 3D, entre outros. De acordo com Jacobsen (2007) os modelos rigorosos, quando comparados aos modelos generalizados, proporcionam melhores resultados no processo de correção geométrica com menor número de pontos de apoio e também apresentam maior flexibilidade na distribuição destes pontos.

Esses modelos matemáticos são funções que relacionam as coordenadas da imagem (x, y) com as coordenadas do terreno (X, Y, Z) do mesmo ponto. Em geral, as imagens já vêm com certo nível de correção geométrica, cabendo, muitas vezes, aos usuários, refinar geometricamente a imagem a partir de pontos de controle no terreno.

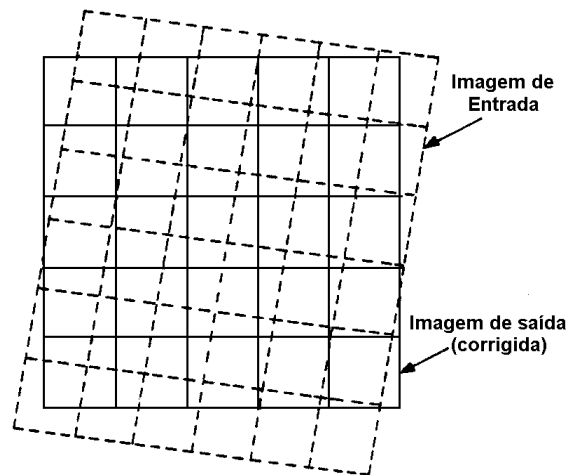


Figura 5.8. A correção geométrica transforma a imagem de entrada, deformada pelo processo de captura, em uma imagem corrigida, reamostrando-a *pixel a pixel* (modificado de GUPTA, 1991; LILLESAND et al., 2004). Reparar que na imagem original os *pixels* não são quadrados, nem possuem a orientação norte-sul, leste-oeste.

### 5.2.1. GPC – Pontos de Controle no Terreno

GCPs (*Ground Control Points* - Pontos de Controle no Terreno) são pontos cujas coordenadas de terreno são conhecidas. Estes pontos são utilizados na correção geométrica e georreferenciamento de cartas ou imagens, ou ainda para a verificação da qualidade da correção aplicada. Neste último caso, denominam-se pontos de verificação. As coordenadas dos GCPs podem ser obtidas em levantamentos de campo ou em cartas topográficas.

Para Digital Globe (2007) existem dois tipos de GCPs:

- Primário, obtido diretamente no campo, com um receptor GNSS por exemplo ou em um mapa.
- Secundário, derivado por triangulação dos GCPs primários a partir de modelos matemáticos rigorosos (físicos).

Este trabalho descreve ainda GCPs planimétricos, com  $X$  = latitude e  $Y$  = longitude ou GCPs verticais, com  $X$  = latitude;  $Y$  = longitude e  $Z$  = elevação (ou altitude). As coordenadas latitude e longitude são curvilíneas, portanto, no processo de correção geométrica de imagens essas coordenadas devem ser transformadas para coordenadas em um sistema de projeção ou para coordenadas cartesianas referenciadas ao Sistema Geodésico Cartesiano Local. Em geral, também são utilizadas coordenadas oriundas de projeções cartográficas.

## 5.3. Ortorretificação

O termo surge com a correção que deve ser aplicada para reparar deslocamentos decorrentes do tipo de projeção em perspectiva que as imagens aéreas e imagens de satélite



possuem (Figura 5.9). A imagem corrigida deve apresentar uma projeção ortográfica para ser utilizada na preparação de bases cartográficas.

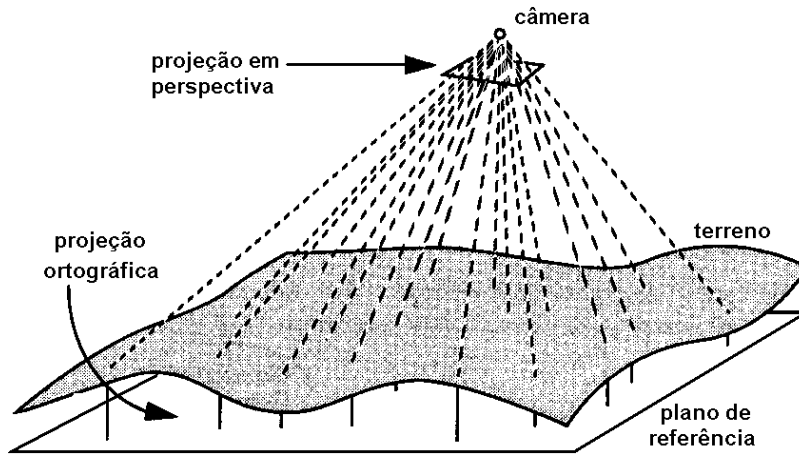


Figura 5.9. Relação entre fotografia e imagens de sensoriamento remoto e a projeção ortográfica (SCHRADER e POUNCEY, 1997).

Tal correção é necessária porque, em consequência do relevo, as fotografias possuem distorções geométricas que fazem a escala da foto ser diferente ao longo da fotografia (do centro para as bordas). Isto faz com que os objetos que aparecem na fotografia estejam deslocados em relação a sua posição (planimétrica) real (LILLESAND et al., 2004).

As imagens de satélite, em geral, são obtidas por sensores de varredura linear (*pushbroom*). Para esses tipos de sensores, cada linha possui uma projeção perspectiva como apresentado na Figura 5.10. Dessa forma, os objetos que aparecem na imagem também são deslocados em relação a sua posição planimétrica real.

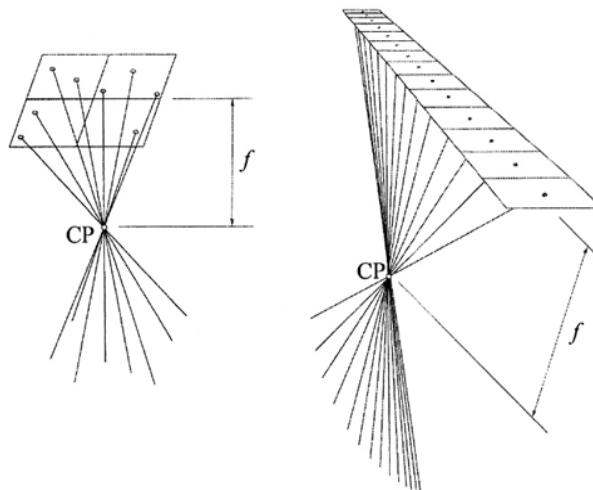
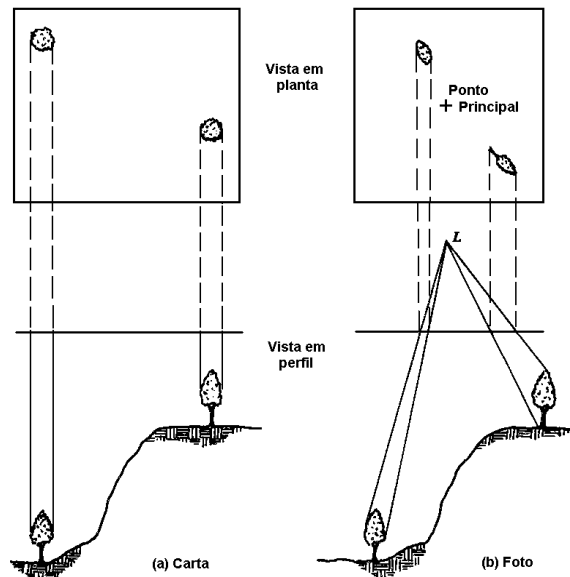


Figura 5.10. Geometria de aquisição (a) câmara de quadro e (b) câmara de varredura linear (MIKHAIL et al., 2001). *CP* é o Centro Perspectivo da câmara e *f* é a distância focal.

A diferença entre a projeção ortográfica da carta e em perspectiva da imagem pode ser visualizada na Figura 5.11.



Carta: projeção ortográfica, escala constante, sem deslocamento de relevo.

Foto aérea: projeção em perspectiva, escala variável e deslocamento de relevo.

Figura 5.11. Comparação entre a geometria de uma carta em (a) e de uma fotografia aérea vertical em (b). As diferenças envolvem o tamanho, forma e localização das duas árvores (LILLESAND et al., 2004).

Este tipo de correção se utiliza de um MDE (Modelo Digital de Elevação - ver Capítulo 17 - Modelagem do Terreno) e os resultados de cálculo, triangulação e projeção, utilizados no processo de correção, produzem uma ortofoto ou uma ortoimagem.

Este processo de correção é notado, principalmente, sobre imagens de alta resolução espacial. Nas Figuras 5.12 e 5.13, pode-se observar a diferença entre imagens que, embora estejam geometricamente corrigidas, não estão ortocorrigidas. É importante observar ainda, na Figura 5.12, que as distorções impostas pelo relevo, implicam também em mudanças nos ângulos das feições das imagens corrigidas (observar a diferença no alinhamento da cerca).



Figura 5.12. O ponto em vermelho teve sua coordenada obtida com GPS de precisão, mesmo assim sua posição sobre a imagem apresenta deslocamento. Na imagem "B", que se encontra ortocorrigida, o ponto obtido em campo está na posição exata que ocupa no mundo real (modificado de OLIVEIRA, 2005).

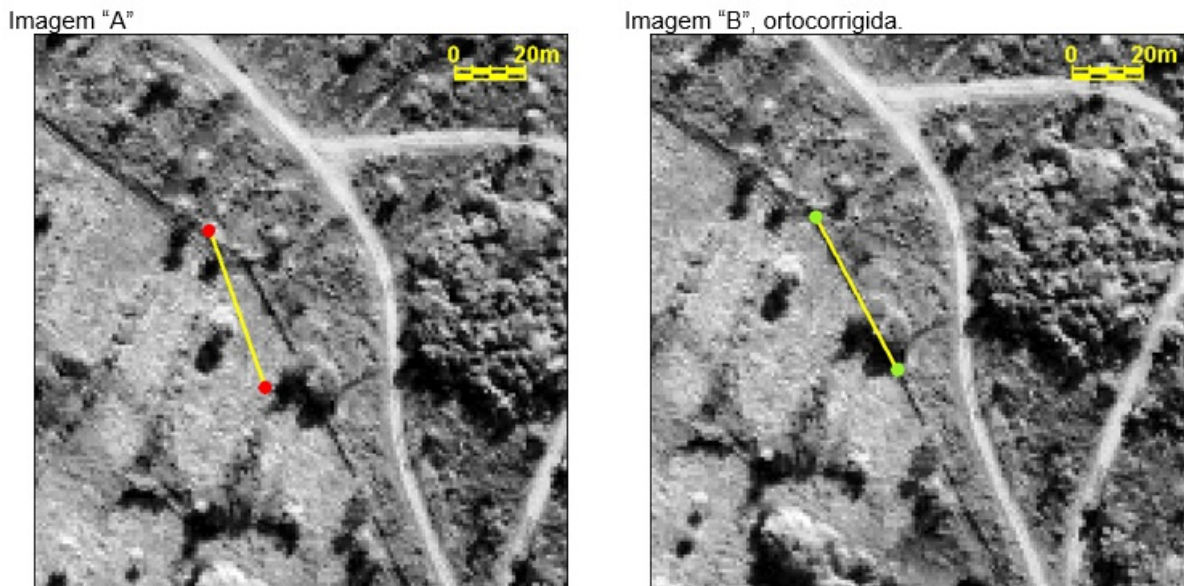


Figura 5.13. Os pontos em vermelho tiveram suas coordenadas obtidas com GPS de precisão. A linha amarela representa uma cerca. Na imagem “A” não há coincidência entre a localização real dos pontos e o sistema de coordenadas da imagem. A imagem “B” encontra-se ortocorrigida e deste modo os pontos obtidos em campo se ajustam exatamente com o sistema de coordenadas da imagem (modificado de OLIVEIRA, 2005).

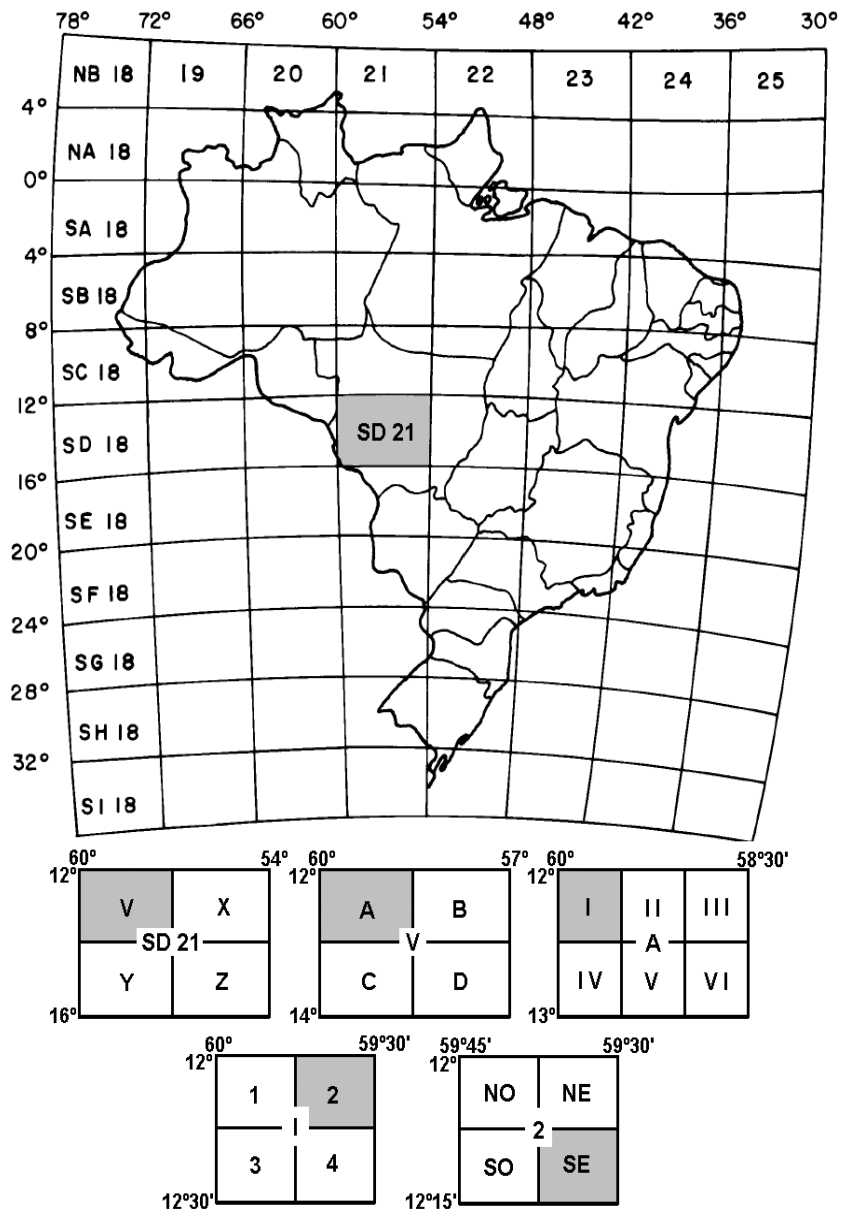
Alguns distribuidores de imagens de satélite podem fornecer as imagens em diferentes níveis de correção geométrica, georreferenciamento ou mesmo ortorretificação. Estes produtos muitas vezes representam agregação de valores às imagens, portanto variam de custo e, frequentemente, podem ser feitos em configurações selecionadas pelo usuário.

#### 5.4. Mapeamento Sistemático do Território Brasileiro

A distribuição geográfica das folhas ao milionésimo foi obtida com a divisão do planeta, no sentido oeste-leste (em modelo esférico) em 60 fusos de 6º de amplitude. Cada um destes fusos está dividido, no sentido norte-sul, em 21 zonas de 4º de amplitude. Os fusos coincidem com os fusos das especificações do sistema UTM, o qual foi pautado na Carta Internacional ao Milionésimo (IBGE, 1999 - Figura 5.14).

Cada carta, na escala 1:1.000.000, na projeção conforme de Lambert (com 2 paralelos padrão), pode ser acessada por um conjunto de três caracteres (IBGE, 1999):

- letra **N** ou **S**, que indica se a carta está no hemisfério Norte ou Sul.
- uma letra de **A** a **U**, que informa em qual zona de 4º de latitude, a partir do Equador, está localizada a carta.
- um número de 1 a 60, descrevendo a qual fuso pertence a carta.



Nomenclatura das Cartas do mapeamento sistemático.

Nº de Folhas	Escala	Nomenclatura	Mapa Índice	Long.	Lat.
1	1 : 1.000.000	SD 21	29	6º	4º
4	1 : 500.000	SD 21-V	-	3º	2º
4	1 : 250.000	SD 21-V-A	337	1º 30'	1º
6	1 : 100.000	SD 21-V-A-I	1862	30'	30'
4	1 : 50.000	SD 21-V-A-I-2	1862 / 2	15'	15'
4	1 : 25.000	SD 21-V-A-I-2-SE	1862 / 2 - SE	7' 30"	7' 30"

Figura 5.14. Articulação ao milionésimo para o Brasil. Os códigos que identificam cada carta permitem a sua localização geográfica, com uma abrangência de 46 cartas e oito fusos (IBGE, 1999).

As escalas do mapeamento sistemático do território brasileiro estão apresentadas também na Figura 5.14. As cartas na escala 1:1.000.000 são representadas na projeção cônica conforme de Lambert com dois paralelos padrão. As cartas nas demais escalas (1:500.000 e maiores) são representadas na projeção UTM. Os produtos do mapeamento sistemático do

território brasileiro são disponibilizados no site do IBGE ([http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)).

O mapeamento sistemático do território brasileiro foi realizado em sua grande parte a partir de imagens de Sensoriamento Remoto (plataforma aérea e orbital). As etapas para a produção das cartas a partir de imagens aéreas são descritas em IBGE (1999).

## 5.5. Resolução Espacial e Escala

Para poder relacionar estes dois parâmetros, deve-se compreender e relacionar os conceitos de erro gráfico e PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 1984, 2005).

A partir disto, para poder se definir a escala de trabalho, deve-se considerar ainda os conceitos de precisão e acurácia, para atendimento dos dispositivos legais, bem como observar os limites de aplicação entre a topografia e a geodésia. Todos estes conceitos são explicados a seguir.

### 5.5.1. Erro Gráfico

Levando em consideração a relação entre a resolução espacial e o erro gráfico, pode-se ter ideia de uma escala de trabalho adequada ao GSD da imagem de satélite. Deve-se levar em conta ainda a resolução de tela do monitor ou dispositivo de impressão onde será exibida/impressa a imagem.

Por erro gráfico ou de graficismo define-se o valor de 0,2 mm na escala de trabalho, referindo-se ao menor objeto representável em uma escala. Este valor tem relação com o menor objeto identificável a olho nu, ou seja, o menor ponto (ou traço) que se pode traçar sem auxílio de equipamento.

Em teoria o valor da resolução espacial deveria ser aplicado como o valor de erro de graficismo para a obtenção da escala de trabalho, pois a escala de trabalho é determinada pelo menor objeto que se deseja representar (Tabela 5.3). Porém isto varia de acordo com a resolução gráfica do sistema em que se está processando a imagem e a precisão da correção geométrica sofrida pela imagem e a precisão esperada.

Tabela 5.3. Escalas de trabalho e erros gráficos associados.

Escala	Erro de Graficismo ou a dimensão do menor objeto que se pode representar
1:1.000	0,2 m
1:5.000	1 m
1:10.000	2 m
1:25.000	5 m
1:50.000	10 m
1:100.000	20 m
1:250.000	50 m
1:500.000	100 m
1:1.000.000	200 m



Além disto, existe o PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica, determinado pelo decreto Lei nº 89.817 (BRASIL, 1984, 2005), que estabelece ainda o erro padrão, que juntamente com o PEC permitem classificar cartas como A, B, C, deixando implícito que, para todas as escalas, este padrão poderá ser usado.

### 5.5.2. PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

O Padrão de Exatidão Cartográfica (Tabela 5.4) é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão - PEC = 1,6449 EP. O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica (Brasil, 1984, 2005). Para efeito ilustrativo, cabe citar que o padrão Norte-americano é definido numa probabilidade de 95% (FGDC, 1998).

Tabela 5.4. Valores de PEC e erro-padrão planimétricos determinados pelo Decreto Lei 89.817 (BRASIL, 1984).

	Classe A	Classe B	Classe C
<b>PEC<sup>1</sup></b>	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
<b>Erro padrão<sup>2</sup></b>	0,3 mm	0,5 mm	0,6 mm

1 - PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 1984, 2005).

2 - A Lei considera Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático como sinônimos.

Considerando os parâmetros para o cálculo dos valores do PEC planimétrico, pode-se gerar uma nova tabela para as diferentes escalas de trabalho (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. PEC- Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico para as diferentes escalas de trabalho (BRASIL, 1984, 2005)

Escala	Classe A	Classe B	Classe C
1:2.000	1 m	1,6 m	2,0 m
1:5.000	2,5 m	4,0 m	5,0 m
1: 10.000	5,0 m	8,0 m	10,0 m
1: 25.000	12,5 m	20 m	25,0 m
1: 50.000	25 m	40 m	50 m
1: 100.000	50 m	80 m	100 m
1: 250.000	125 m	200 m	250 m
1: 500.000	250 m	400 m	500 m
1: 1.000.000	500 m	800 m	1000 m

O PEC deve ser considerado como um parâmetro determinante à acurácia (ver definição na Seção 5.5.3) da correção da imagem, bem como a relação entre o PEC e a resolução espacial para a escolha da escala.

Assim, por exemplo, uma imagem Landsat, com resolução espacial de 30 m, é inadequada para concepção de uma carta 1:50.000 classe A.

Para produtos cartográficos gerados a partir de imagens de satélite, além do erro de graficismo e PEC, deve-se levar em conta, ainda, o erro/precisão da correção geométrica aplicada à imagem utilizada.

Levando-se em conta os valores do PEC, a existência de um baixo valor da raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE – *Root Mean Square Error*) da correção aplicada sobre a imagem (abaixo de um *pixel*) e a resolução espacial desta imagem, na Tabela 5.6 são propostas algumas escalas de trabalho para a elaboração de cartas temáticas.

Tabela 5.6. Resoluções espaciais e escalas de trabalho sugeridas como referência na elaboração de cartas temáticas.

Resolução Espacial	Maior Escala de trabalho Sugerida*
1 m	1:5.000
10 m	1:25.000
15 m	1:40.000
20 m	1:50.000
30 m	1:80.000

\* Valores para elaboração de cartas PEC - Classe A. A qualidade da correção (ortocorreção), a resolução e capacidade do sistema que processará as imagens interferem nestes valores e devem ser considerados.

Os valores de PEC e erro-padrão foram estabelecidos no ano de 1984 (BRASIL, 1984), época em que os produtos cartográficos eram gerados a partir de processos ópticos, mecânicos e manuais. Atualmente, os produtos cartográficos são gerados por meio de processos digitais e, portanto, os erros inerentes a esse processo diferem dos erros que ocorriam antigamente. Nesse sentido, apresenta-se a seguir por meio da Tabela 5.7 o PEC – PCD (Produtos Cartográficos Digitais) planimétrico.

Tabela 5.7. Valores de PEC-PCD e erro-padrão planimétricos (INDE).

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
PEC-PCD	0,28 mm	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
Erro padrão	0,17 mm	0,3 mm	0,5 mm	0,6 mm

Ao comparar os valores do PEC-PCD apresentados na Tabela 5.7 com os valores do PEC da Tabela 5.8 nota-se que a classe A do PEC corresponde à classe B do PEC-PCD. Apresenta-se na Tabela 8, o PEC e o PEC-PCD para a altimetria.

Tabela 5.8. Valores de PEC e PEC-PCD e os respectivos erro-padrão da altimetria.

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
PEC	0,50 mm	0,60 mm	0,75 mm	-
Erro padrão	0,33 mm	0,40 mm	0,50 mm	-
PEC – PCD	0,50 mm	0,60 mm	0,75 mm	1,0 mm
Erro padrão	0,33 mm	0,40 mm	0,50 mm	0,6 mm

Nota-se que em altimetria os valores do PEC e PEC-PCD são os mesmos para as respectivas classes.

### 5.5.3. Acurácia e Precisão

Neste contexto, são necessários mais dois conceitos: Acurácia e Precisão (Figura 5.15). As imagens permitem produzir dados cartográficos, que podem conter erros. Isto ocorre por efeitos sistemáticos como distorções nas imagens, problemas de projeção e *datum* cartográficos, ou mesmo falha humana. Assim, numa avaliação de um trabalho, poderão existir dados que são precisos, porém não são acurados.

**PRECISÃO:** é o grau de concordância de uma série de medidas feitas sobre condições similares. Ainda, desvio de um conjunto de valores de sua média. Traduz-se, portanto, na confiabilidade da imagem em possibilitar ao usuário uma avaliação da dispersão ao se tomar posições planimétricas. Associa-se ao desvio padrão das medições.

**ACURÁCIA:** descreve a proximidade do valor amostrado com o valor verdadeiro, é a diferença entre o valor esperado e o valor verdadeiro.

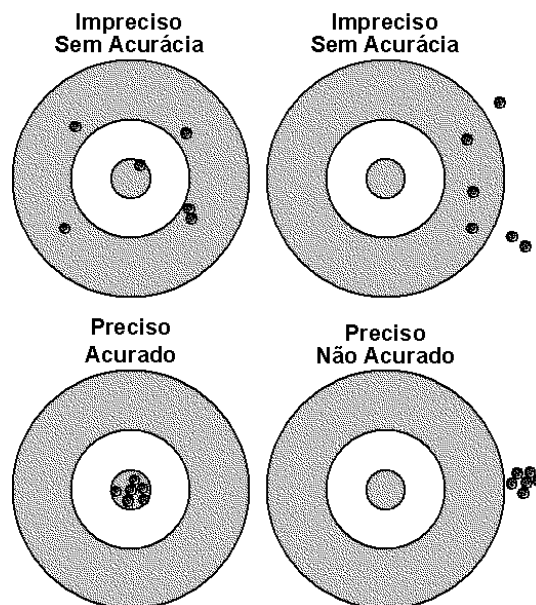


Figura 5.15. O objetivo é atingir o centro do alvo com seis tiros. A comparação mostra diferentes resultados e a relação entre Acurácia (ou acuracidade) e Precisão (baseado em SCHREUDER et al., 2004). Como apontado por Monico (2009), quando se diz que algo é acurado, está implícito que é preciso.

### 5.5.4. Topografia e Geodésia

Como explicado até agora, a forma da Terra interfere nas medições efetuadas sobre a sua superfície. Loch e Cordini (2000) explicam que ao se estudar Topografia é necessário estabelecer um estudo paralelo de Geodésia, pois parte desta, a Geodésia Elementar, é essencialmente prática, preocupando-se em proporcionar à Topografia uma rede de pontos fundamentais à qual está possa amarrar seus levantamentos.

Então, de modo prático, o usuário deve saber qual é o limite para seus levantamentos sofrerem, ou não, influência da curvatura terrestre. Este limite é chamado de "campo

topográfico" e sua extensão depende da escala e precisão necessárias ao levantamento que se deseja efetuar. Considerando-se o erro gráfico, a escala e a precisão necessária aos levantamentos topográficos, vários autores limitam o campo topográfico, ou seja, as medições planimétricas sem interferência da curvatura terrestre (Figura 5.16), a uma extensão de cerca de 23 km (ESPARTEL, 1969; PINTO, 1988; LOCH e CORDINI, 2000).

Em altimetria, o efeito causado por não considerar a curvatura terrestre é maior. Para distâncias de 1 km e 10 km, os efeitos são respectivamente, 7,8 cm e 7,8 m (VEIGA et al., 2012).

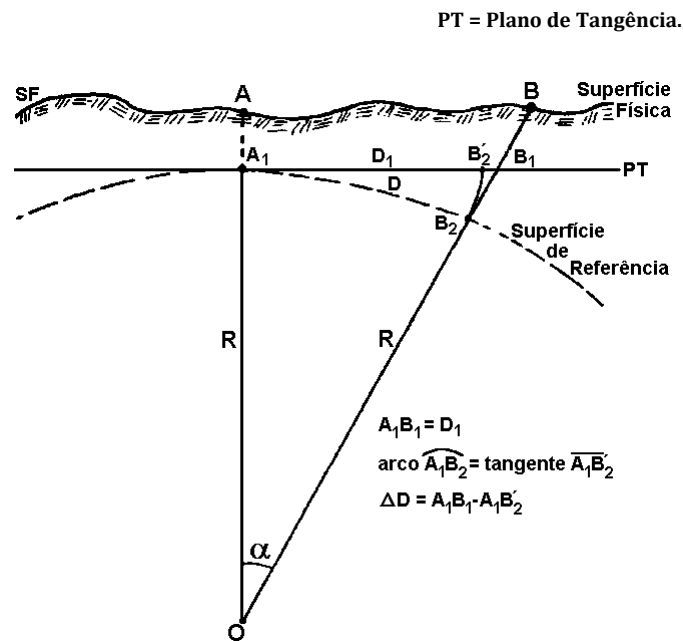


Figura 5.16. Efeito da curvatura terrestre, sendo a diferença entre  $D_1$  e  $D$  denominada de erro planimétrico (LOCH e CORDINI, 2000). PT refere-se ao plano de tangência.

## 5.6. Escala de Trabalho

Como encerramento deste capítulo, após apresentados os conceitos envolvidos, ainda se salienta que a escolha da escala de trabalho não é uma tarefa a ser realizada sem critérios. A questão a ser destacada é a de que em estudos ambientais, o que se deseja representar é uma parte da natureza em uma escala reduzida, por exemplo, na forma de um modelo ou carta. Assim a redução em escala deve ser suficiente para que o modelo/carta seja fidedigno com a realidade, porém a escala deve ser suficiente para que o sistema possa processar/armazenar este modelo/carta.

Esta escolha não deve resultar em mais erros. Para a produção cartográfica, a Legislação Brasileira (Lei nº 89.817; BRASIL, 1984, 2005) cita em seu Artigo 10 que é obrigatória a indicação da classe de carta no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação. Continua citando que os documentos cartográficos, não enquadrados nas classes especificadas na Lei, devem conter no rodapé da folha a indicação obrigatória do Erro-Padrão verificado no processo de elaboração.

Outra consideração importante quanto aos erros de trabalho em cartas é a de que uma variação linear em uma carta tem propagação quadrática em área (Figura 5.17 - Tabela 5.9).

Isto deve ser levado em consideração quando se altera a escala de uma carta, imagem ou base de dados. A legislação trata disto também (Lei nº 89.817; BRASIL, 1984, 2005):

**Art.11.** Nenhuma folha de carta será produzida a partir da ampliação de qualquer documento cartográfico.

**§1º** Excepcionalmente, quando isso se tornar absolutamente necessário, tal fato deverá constar explicitamente em cláusula contratual no termo de compromisso,

**§2º** Uma carta nas condições deste artigo será sempre classificada com exatidão inferior à do original, devendo constar obrigatoriamente no rodapé a indicação "Carta ampliada a partir de (... documento cartográfico) em escala (... tal)".

**§3º** Não terá validade legal, para fins de regularização fundiária ou de propriedade imóvel, a carta de que trata o "caput" do presente artigo. (BRASIL, 1984, 2005).

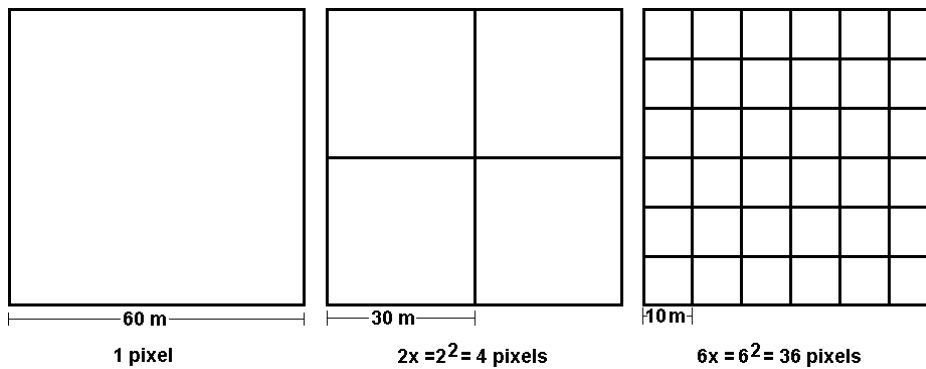


Figura 5.17. Esquema mostrando que um *pixel* de 60 m é composto por quatro de 30 m e 36 de 10 m, evidenciando a propagação quadrática de valores de área, com alteração linear dos valores de dimensão.

Tabela 5.9. Modelo mostrando como uma área de 25 km<sup>2</sup> é representada em uma carta e os valores envolvidos com a transformação para diferentes escalas, tendo uma carta 1:100.000 como termo de comparação.

Área no terreno = 25 km <sup>2</sup> = 5 km x 5 km					
Escala	Erro de graficismo m	Área no mapa cm x cm	Área no mapa cm <sup>2</sup>	Varição linear em relação a 1:100.000	Varição de área em relação a 1:100.000
<b>1:100.000</b>	20	5 x 5	25	1	1
<b>1:50.000</b>	10	10 x 10	100	Ampliação 2x	Ampliação 4x (2 <sup>2</sup> )
<b>1:25.000</b>	5	20 x 20	400	Ampliação 4x	Ampliação 16x (4 <sup>2</sup> )
<b>1:10.000</b>	2	50 x 50	2500	Ampliação 10x	Ampliação 100x (10 <sup>2</sup> )
<b>1:1.000</b>	0,2	500 x 500	250000	Ampliação 100x	Ampliação 10.000x (100 <sup>2</sup> )
<b>1:200.000</b>	40	2 x 2	4	Redução 2x	Redução 4x (2 <sup>2</sup> )
<b>1:500.000</b>	100	1 x 1	1	Redução 5x	Redução 25x (5 <sup>2</sup> )
<b>1:1.000.000</b>	200	0,5 x 0,5	0,25	Redução 10x	Redução 100x (10 <sup>2</sup> )

Deve ser observada também, qual é a dimensão do menor objeto a ser representado, que deverá ter, em sua representação na carta, dimensão adequada. Cada caso deve considerar ainda a escala final de apresentação, a escala do material a ser utilizado, a sua precisão e acurácia, o erro gráfico da escala e o PEC, todos explicados anteriormente, neste capítulo.



Uma ideia de como a escala afeta o nível de detalhamento do que é mostrado em uma carta aparece nas Figuras 5.18 e 5.19. Propositamente são mostradas cartas de origem e escalas diferentes, para enfatizar que o nível de detalhamento não é função apenas da escala. A base de dados que deu origem às cartas também é importante e um bom serviço de reambulação é importante para as cartas de escala de detalhe.

Por reambulação entende-se a etapa de caminhamento pela área mapeada levantando detalhes topográficos, como nome de ruas, estradas, prédios públicos e outros detalhes que não puderam ser obtidos na interpretação das imagens, para inserção destes dados no mapa final.

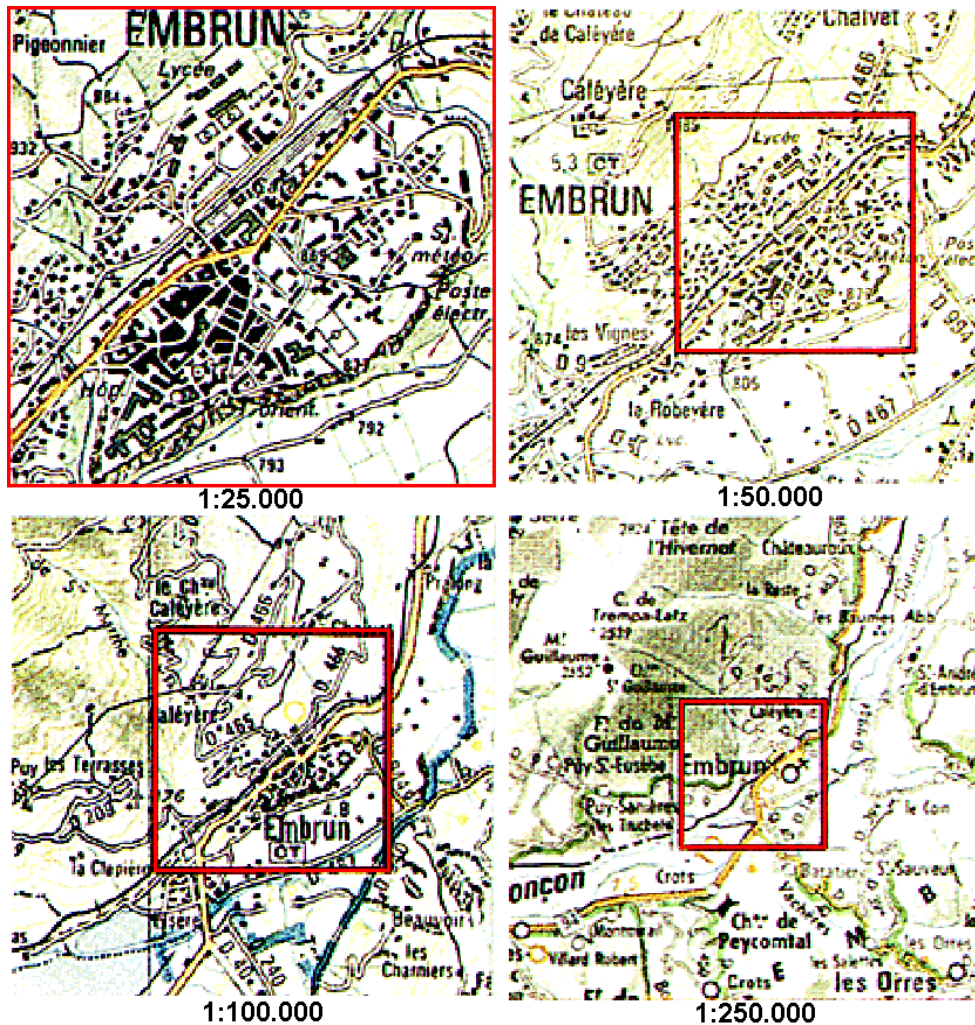


Figura 5.18. Vários mapas de uma mesma área mostrando a influência da escala de apresentação no nível de detalhamento de uma carta (CORINE, 1992). A área em vermelho é a mesma em todas as cartas. Na escala 1:25.000 é possível se identificar o esqueleto do arruamento e da estrutura urbana, aparecem também os nomes dos principais bairros. Na escala 1:50.000 a área urbana é identificável, enquanto na escala 1:100.000 começa-se a ter ideia do contexto regional. Na escala 1:250.000 a cidade é representada apenas por uma simbologia.

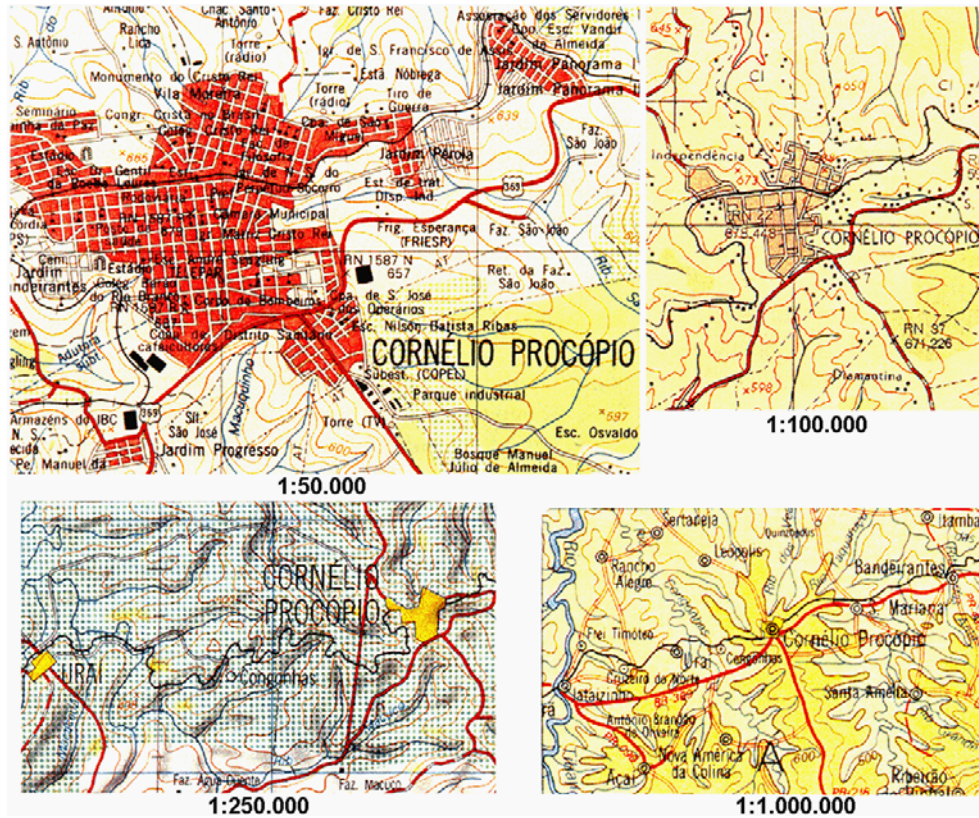


Figura 5.19. Como mostrado na anterior, outra comparação de vários mapas de uma mesma área, mostrando a influência da escala de apresentação no nível de detalhamento de uma carta (IBGE, 1999), porém com outras escalas, ilustrando assim que além da escala, a técnica utilizada na elaboração das cartas também é importante. Na escala 1:50.000 é possível se identificar alguns detalhes da estrutura urbana, básica. Enquanto na escala 1:100.000 começa-se a ter ideia do contexto regional e os limites urbanos. Na escala 1:250.000 observa-se o contexto regional. Na escala 1:1.000.000 a cidade é aparece apenas como uma simbologia.

## 5.7. Georreferenciamento e Registro de Imagens

Os termos georreferenciamento e registro aparecem com frequência nos *softwares* de processamento de imagens. Em sensoriamento remoto, georreferenciamento consiste em estabelecer para cada *pixel* da imagem, coordenadas referenciadas a algum sistema de coordenadas do terreno ou de projeção (Seção 5.1.).

Na Seção 5.2 apresentou-se uma discussão do processo de correção geométrica de imagens, que consiste em aplicar modelos matemáticos para estabelecer a relação entre pontos no referencial da imagem com os respectivos pontos no referencial do terreno. Portanto, a partir da correção geométrica é possível calcular para cada *pixel* da imagem as coordenadas do terreno.

Entretanto, realizando-se apenas a correção geométrica, os objetos nas imagens ainda estarão deslocados em relação a sua posição planimétrica real devido à variação de escala causada pela variação do relevo. Portanto, deve-se aplicar a ortorretificação para que seja gerada uma imagem com projeção ortográfica. Nesse sentido, para georreferenciar



rigorosamente uma imagem é necessário não apenas corrigir geometricamente, mas também ortorretificar a imagem.

É importante ressaltar que o processo de ortorretificação provocará diferenças significativas principalmente sobre imagens de alta resolução espacial. No caso de imagens com baixa resolução espacial, o processo de georreferenciamento pode se reduzir apenas à correção geométrica, particularmente em regiões com pequenas variações de altitude.

O registro de imagens pode ser usado para realizar o georreferenciamento de imagens de média e baixa resolução e, consiste em determinar os parâmetros de uma transformação geométrica bidimensional que permitem transformar coordenadas da imagem, em coordenadas de outro referencial, que pode ser de outra imagem, de uma base vetorial, de pontos de apoio, dentre outras fontes. A determinação destes parâmetros requer uma estimação pelo Método dos Mínimos Quadrados. Após a determinação as imagens podem ser reamostradas para o referencial resultante, usando a transformação escolhida.

Esse processo é bastante aplicado em situações em que se pretende realizar uma análise multitemporal a partir de imagens de sensoriamento remoto.

#### 4.5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

#### 5.8. Referências

AKSAKAL-KOCAMAN, S. **Sensor modeling and validation for linear array aerial and satellite imagery**. 2008. Doctoral Thesis – Middle East Technical University, Turkey, 2008.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.

BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**: 22 jun. 1984. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acesso em: 19 ago. 2020.

BRASIL. Decreto nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da**

**União:** 07 jan. 2005. 2005 Disponível em: <http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96972/decreto-5334-05>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CÂMARA, G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V.; D'ALGE, J. C. L.; FELGUEIRAS, C.; FREITAS, C. C.; FONSECA, L. M. G.; FONSECA, F. (org). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CORINE. **CORINE Land Cover**. CORINE - Coordination of Information on the environment. Comm of European Communities. Bruxelas, 1992. 106 p.

DIGITAL GLOBE. **QuickBird Imagery Products**. Product Guide. Revision 4.7.3. Longmont, Colorado: DigitalGlobe Inc., 2007. 15 p. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~bethel/qbguide.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 1 ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1969. 319 p.

FGDC. Federal Geographic Data Committee. **Accuracy Standards for Large-Scale Maps Reporting. Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy**. FGDC-STD-007.3-1998: Washington: Federal Geographic Data Committee, 1998. 28 p.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. 2. ed. Universidade Federal do Paraná, 2002. 297 p.

GUPTA, R. P. **Remote Sensing Geology**. Berlin: Springer Verlag, 1991. 356 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução R.PR nº 1, de 25 de fevereiro de 2005**. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. IBGE, 2005. 8 p. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **ProGrid – Transformação de Coordenadas**. 2009. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16312-progrid.html?edicao=16313&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 19 ago. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **MapGEO2010 – Modelo de Ondulação Geoidal**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 19 ago. 2020.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Gabinete da Presidência do INCRA: Divisão de Ordenamento Territorial - SDTT. Gerência de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. 3. ed. Brasília: INCRA, 2013. 42 p. Disponível em: [https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/norma\\_tecnica\\_georreferenciamento\\_imoveis\\_rurais\\_3ed.pdf](https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/norma_tecnica_georreferenciamento_imoveis_rurais_3ed.pdf). Acesso em: 19 ago. 2020.

JACOBSEN, K. Orientation of high resolution optical space images. *In: ASPRS ANNUAL CONFERENCE, 2007, Tampa, Florida. Proceedings [...]*. Tampa, Flórida, 2007.

JEKELI, C. **Geometric reference systems in geodesy**. Division of Geodetic Science, School of Earth Sciences, Ohio State University, 2012.

KIM, T.; DOWMAN, I. Comparison of two physical sensor models for satellite images: Position-Rotation model and Orbit-Attitude model. **The Photogrammetric Record**, v. 21, n. 114, p. 110-123, 2006.

- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. E. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.
- LOCH, C.; CORDINI, J. 2000. **Topografia Contemporânea: planimetria**. 2. ed. ver. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000. 321 p.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1987. 134 p.
- MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S. MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley e Sons Inc, 2001. 479 p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamento e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476 p.
- MONICO, J. F. G. Acurácia e precisão: revendo conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469-483, 2009.
- MORITZ, H. Geodetic Reference System 1980. **Bulletin Geodesique**, v. 54, n. 3, p. 395-405, 1980.
- OLIVEIRA, L. G. L. de. **Elaboração e aplicação de modelo digital de elevação: o caso de estudo do Parque Municipal de Costa Rica, MS**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.
- PINTO, L. E. K. **Curso de Topografia**. 2. ed. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1988. 344 p.
- RAPP, R. H. **Geometric geodesy, Part I**. Ohio State. University Department of Geodetic Science and Surveying, 1991.
- SCHRADER, S.; POUNCEY, R. **Erdas Field Guide**. 4. ed. Atlanta: Erdas Inc, 1997. 656 p.
- SCHREUDER, H. T.; ERNST, R.; RAMIREZ-MALDONADO, H. **Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2004. 111 p. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/6287>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- SILVA, A. J. F. M. **Geometria de imagens: do projeto do satélite à geração dos produtos**. 2007. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2007.
- TOUTIN, T. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 10, p. 1893–1924, 2004.
- VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Universidade Federal do Paraná, 2012. 205 p.



# Classificação de Imagens

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Giancarlo Lastoria<sup>2</sup>, Ana Paula Garcia Oliveira<sup>3</sup>, Anny Keli Aparecida Alves Cândido Bolognez<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>3</sup>Doutorado em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Doutorado em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Campo Grande, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Embora o olho humano seja um aparato ímpar na distinção de cores e padrões em uma imagem, o cérebro humano não pode processar o mesmo volume de informações na velocidade em que os sistemas digitais de processamento de imagens têm capacidade para fazê-lo.

Isto, por outro lado, não permite afirmar que os sistemas de processamento digital de imagens possam ser sempre mais eficazes que os fotointérpretes. Esta ressalva deve ser feita, porque o operador humano conta, além da sua visão, com a sua experiência. Um exemplo disto é a identificação automática de áreas urbanas, pois os sistemas automáticos tradicionais têm dificuldade em reconhecer a textura urbana.

É possível se fazer uma analogia da forma como são interpretadas imagens de satélite e cartas topográficas ou mapas temáticos. O intérprete, com base na convenção cartográfica adotada para a elaboração da carta, observa e determina quais são os dados ou informações de que necessita.

Deve-se notar que dados e informações são coisas distintas. Um dado, por exemplo, é um valor de cota, a informação associada a ele é a altitude. Outro dado é a linha que representa uma estrada, as informações associadas a ela são os locais por onde passa, quais trajetos podem ligar duas ou mais cidades e ainda, com base na escala, medindo-se as distâncias, qual o caminho mais curto (Figura 6.1).

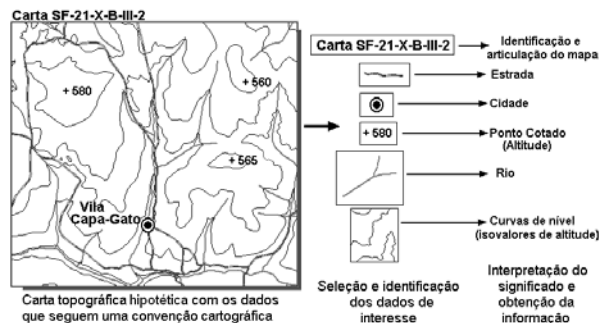


Figura 6.1. Obtenção de dados e informações a partir de uma carta topográfica, onde os dados estão na forma gráfica. A partir do conhecimento da convenção de legenda utilizada na construção da carta, o usuário pode obter as informações de que precisa.

Desta mesma forma, para se trabalhar com as imagens de satélite (ou fotografias aéreas) o intérprete, com base em seu conhecimento e experiência, busca os dados e informações sobre

a imagem. Por exemplo, na elaboração de um mapa geológico, o intérprete buscará os contatos litológicos, as lineações, falhas, fraturas e demais estruturas diretamente sobre a imagem. O conhecimento da área e a experiência do operador o conduzirão ao produto final.

Crósta (1992) define o reconhecimento dos diferentes tipos de cobertura do solo como o principal objetivo do sensoriamento remoto. Este procedimento de distinção e identificação é chamado de classificação de imagens e pode ser feito manualmente ou com o auxílio de sistemas de processamento digital de imagens.

## 6.1. Classificação Manual de Imagens

Classificação de imagens MANUAL ou VISUAL é a fotointerpretação tradicional, feita sobre a impressão de fotos aéreas ou imagens de satélite, muitas vezes com o auxílio do estereoscópio. Esta interpretação também pode ser feita sobre imagens de satélite ou de radar de forma análoga à realizada sobre fotografias aéreas.

Existem também pares estereoscópicos produzidos por sensores remotos, tanto de satélite como de radar. Esta interpretação pode ser feita diretamente ao monitor, bem como já existem estereoscópios que são acoplados ao monitor ou diretamente ao computador.

Há ferramentas que integram *software* de manipulação de imagens com um SIG (sistema de informação geográfica) por meio de um *plugin*, unindo dessa forma uma diversidade de comandos de edição e criação de imagens com as informações geográficas. Dessa forma, o procedimento de fotointerpretação é realizado de forma semiautomática acelerando o processo de vetorização, um exemplo é o SIG QGIS com o *software* de manipulação de imagem GIMP (GNU Image Manipulation Program) que interagem por meio do *plugin* chamado GIMP Selection Feature (MOTTA, 2016; PAIVA, 2018).

### 6.1.1. Fotointerpretação

Tanto na análise de fotografias, como utilizando imagens de satélite, ao monitor ou em material impresso, o termo utilizado para esta análise visual é fotointerpretação. O volume e a qualidade destas informações é função direta da experiência e conhecimento do fotointérprete.

Gupta (1991) define a fotointerpretação como a arte e a ciência de examinar fotografias (e imagens) para identificar os objetos nelas retratados e seus significados.

Lillesand et al. (2004) explicam que imagens fotográficas e de satélite possuem um registro detalhado das feições ao solo no momento da aquisição dos dados. Normalmente, o fotointérprete pode contar com apoio de outros materiais, como mapas ou relatórios de campo. A interpretação pode ser feita em diversos níveis de complexidade, desde o reconhecimento de objetos na superfície até interações entre tipo de cobertura e o subsolo. Os autores continuam afirmando que, além da experiência e conhecimento adquiridos, o fotointérprete deve possuir paciência, além de que é importante que conheça a natureza do fenômeno, ou a região que está descrevendo com base nas imagens que estão interpretando.

Alguns dos elementos, ou suas variações, a serem analisados em uma fotointerpretação são (OLSON JR, 1960; VERGARA, 1978; GUPTA, 1991; LILLESAND et al., 2004):

FORMA - se refere à forma, contorno ou formato, configuração ou arranjo individual dos objetos. Em imagens estereoscópicas a altura também é um parâmetro a ser considerado. Na Figura 6.2 a forma redonda típica facilita o reconhecimento de um pivô de irrigação.

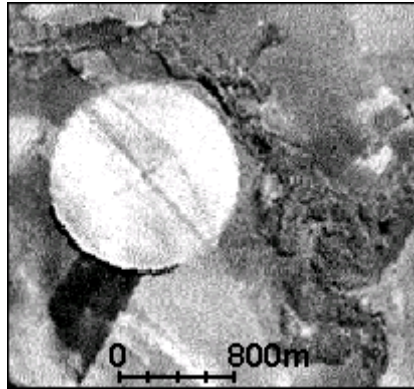


Figura 6.2. Um pivô de irrigação, facilmente reconhecido pela sua típica forma redonda. Imagem Landsat ETM+, banda pancromática (LANDSAT, 2001).

**TAMANHO** - levando em conta a escala da imagem, o tamanho do objeto deve ser considerado, para não se confundir objetos de formato similar.

**TEXTURA** - é a frequência com que ocorre a mudança de tonalidade em uma imagem ou a variabilidade no arranjo destas tonalidades ou cores (Figuras 6.3, 6.4 e 6.5). Muitas feições são pequenas demais para serem individualizadas, mas seu conjunto produz um aspecto visual típico. Uma textura, muitas vezes, é o produto de vários *pixels* que, isoladamente, teriam cada um uma cor diferente. Assim, dependendo da escala de visualização, a textura pode variar.

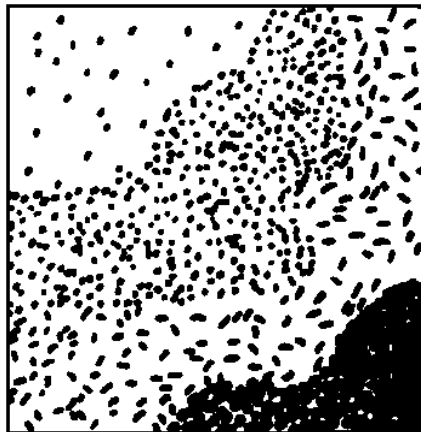


Figura 6.3. A textura de uma imagem pode ser percebida pela variação no arranjo dos tons e cores das imagens (FERANEC et al., 1995 *apud* BOSSARD et al., 2000).

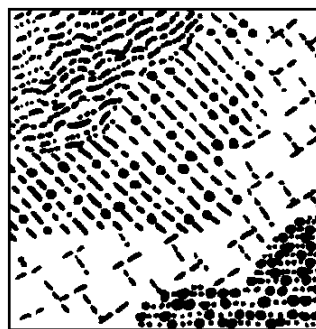


Figura 6.4. Cada tipo de cobertura do solo é caracterizado por um tipo de arranjo espacial das texturas que a compõem. As texturas por sua vez, são composições dos diferentes tipos de objetos presentes na superfície terrestre (FERANEC et al., 1995 *apud* BOSSARD et al., 2000).

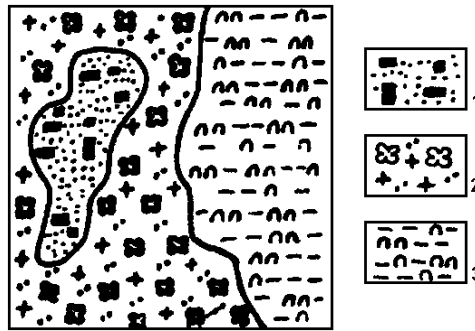


Figura 6.5. Os diferentes tipos de padrões das imagens podem ser determinados por um arranjo espacial de diferentes texturas (FERANEC et al., 1995 *apud* BOSSARD et al., 2000).

**PADRÃO** - se refere ao arranjo geométrico ou espacial dos objetos. A repetição de certas formas é típica de certas feições, artificiais ou naturais. Exemplos são alguns tipos de cultura ou a trama urbana (Figuras 6.3 a 6.8). O padrão é um parâmetro que depende da escala de visualização.

**TONALIDADE** (ou coloração) - se refere ao brilho relativo, ou cor, dos diferentes objetos em uma imagem. As diferentes tonalidades presentes no padrão agrícola das Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 se devem a diferenças na coloração do solo, ou a diferentes níveis de crescimento das diferentes lavouras. Sem diferenças de tonalidade ou cor, os diferentes formatos, padrões e texturas presentes nas imagens não seriam percebidos.

Referindo-se ao conjunto de elementos forma, padrão, textura e tonalidade, pode ser encontrado na literatura o termo "*fabric*".

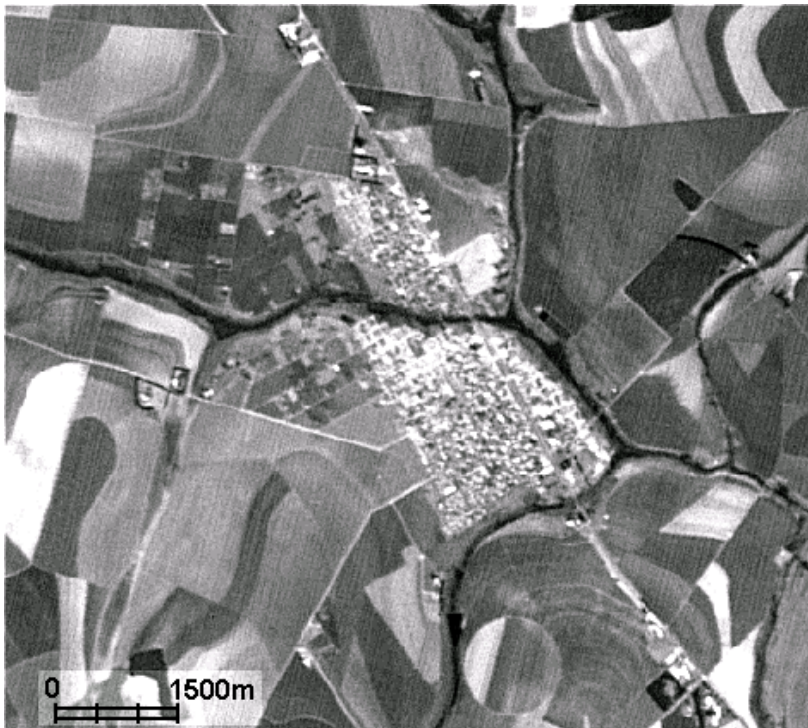


Figura 6.6. Imagem pancromática mostrando ao centro o padrão urbano da cidade de São Gabriel do Oeste, MS. Ao redor da área urbana podem-se identificar padrões agrícolas. É possível ainda se observar um pivô de irrigação ao sul e a rede de drenagem (Julho de 2004; Imagem CBERS - Sensor CCD, Banda 3, vermelho; INPE, 2004).



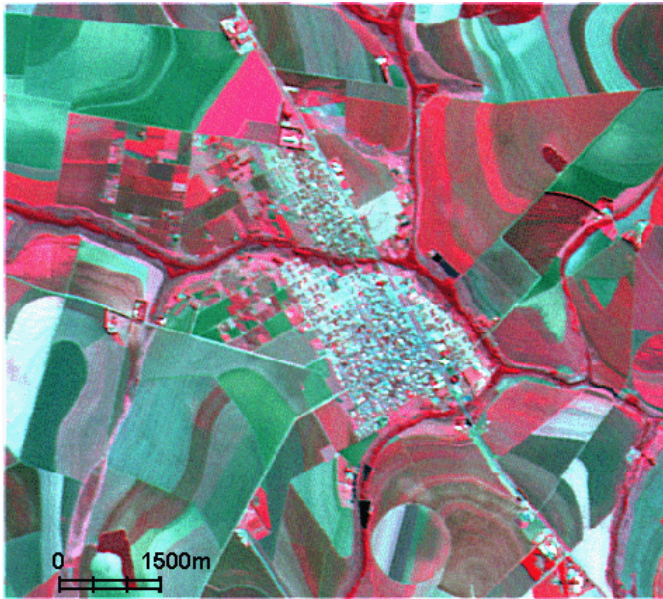


Figura 6.7. Mesma imagem anterior. O uso de combinação falsa-cor permite ainda mais diferenças de tonalidades e cores, facilitando a interpretação do padrão urbano, das áreas agrícolas, do pivô de irrigação e das matas ciliares. Algumas estradas também são visíveis (Julho de 2004; Imagem CBERS - Sensor CCD, combinação falsa-cor RGB 432, INPE, 2004).



Figura 6.8. Novamente a mesma área das Figuras 6.6 e 6.7, mostrando uma fotointerpretação das principais feições presentes (INPE, 2004).

**SOMBRAS** - as sombras fornecem muitas informações. Seja pela visão em perfil dos objetos que representam, seja pela noção de relevo que fornecem, pois as sombras permitem a identificação de vertentes e fundos de vale.

Muitas vezes deve-se levar em consideração o tamanho das sombras e a direção de iluminação (Figura 6.9). Ao se inverter a orientação das sombras em relação ao observador, gera-se uma inversão de relevo, chamada de pseudoscopia (Figura 6.10).



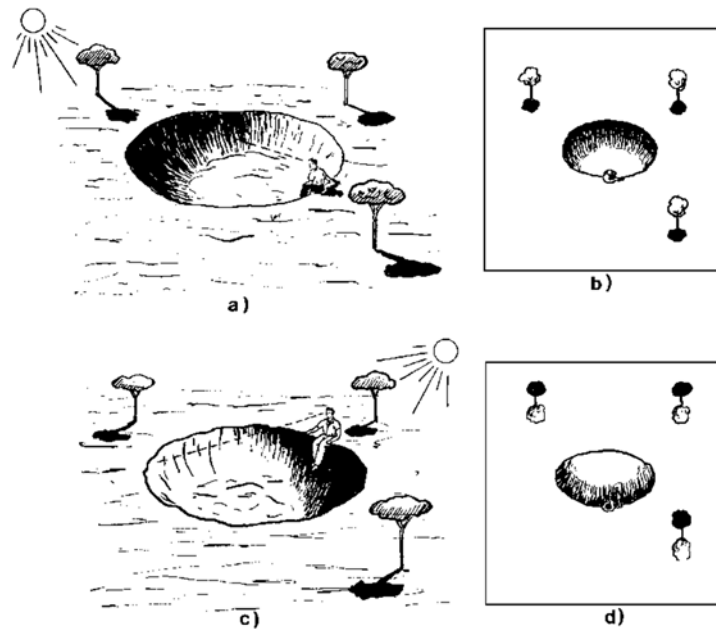


Figura 6.9: Em (a) tem-se a visão esquemática de uma cratera. Um observador verá as sombras quando estas estiverem orientadas na sua direção. Em (b) pode-se observar que a posição das sombras fornece a sensação de relevo, em que se percebe a cratera. Supondo uma orientação diferente, em (d) tem-se a sensação de que se trata de uma elevação. Este é o efeito pseudoscópico (VERGARA, 1978).

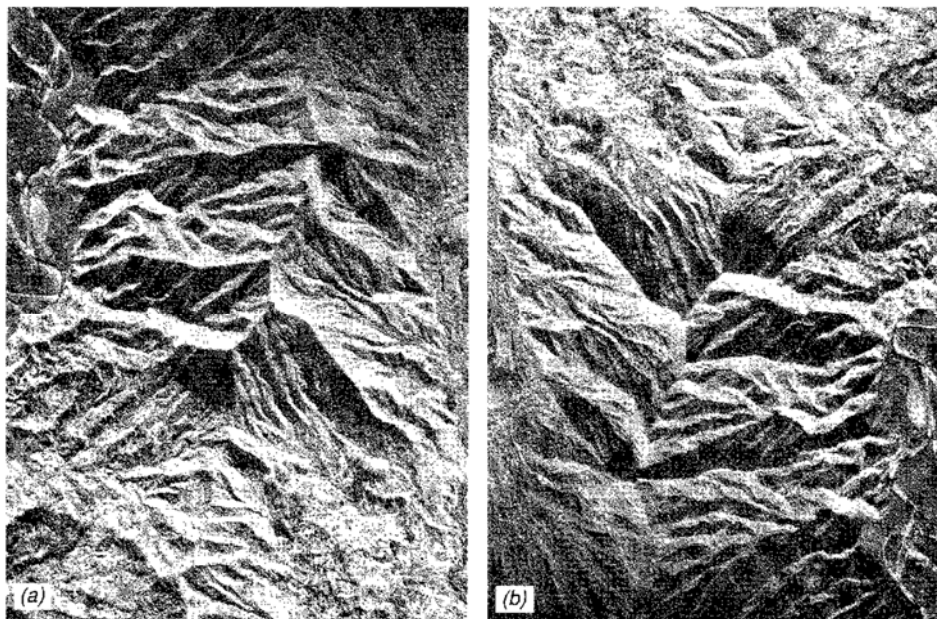


Figura 6.10. Pseudoscopia. A imagem em (a) é a mesma de (b), porém uma está rotacionada 180° em relação à outra (de ponta-cabeça) (LILLESAND et al., 2004).

**LOCALIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO** - o ponto onde foi coletada a imagem pode ser importante na identificação de feições. É o caso de alguns tipos de vegetação, que só ocorrem em determinadas regiões (caatinga, manguezal, cerrado). Algumas feições são preferencialmente associadas a outras. Por exemplo, espera-se que áreas úmidas e matas galeria estejam associadas às drenagens. Este tipo de associação é importante para obtenção de informações em imagens.

**RESOLUÇÃO** - o que está registrado em uma fotografia ou imagem depende da sua resolução (ver Capítulo 3 - Resolução). Por exemplo, o tamanho do menor objeto identificável depende da resolução espacial.

OUTROS - Existem outros parâmetros envolvidos num bom trabalho de fotointerpretação. Por exemplo, no caso do pivô de irrigação da Figura 6.2: o fato de ser uma área que se mantém verde, mesmo durante a estação seca, facilita no reconhecimento de que se trata de uma área agrícola irrigada. Assim, deve-se conhecer a data da imagem, a época de plantio e o regime sazonal da região estudada. O parcelamento mais intenso pode indicar outro tipo de cultura em relação a outras áreas agrícolas. A densidade com que uma feição espacial ocorre também é importante para a sua quantificação (Figura 6.11).

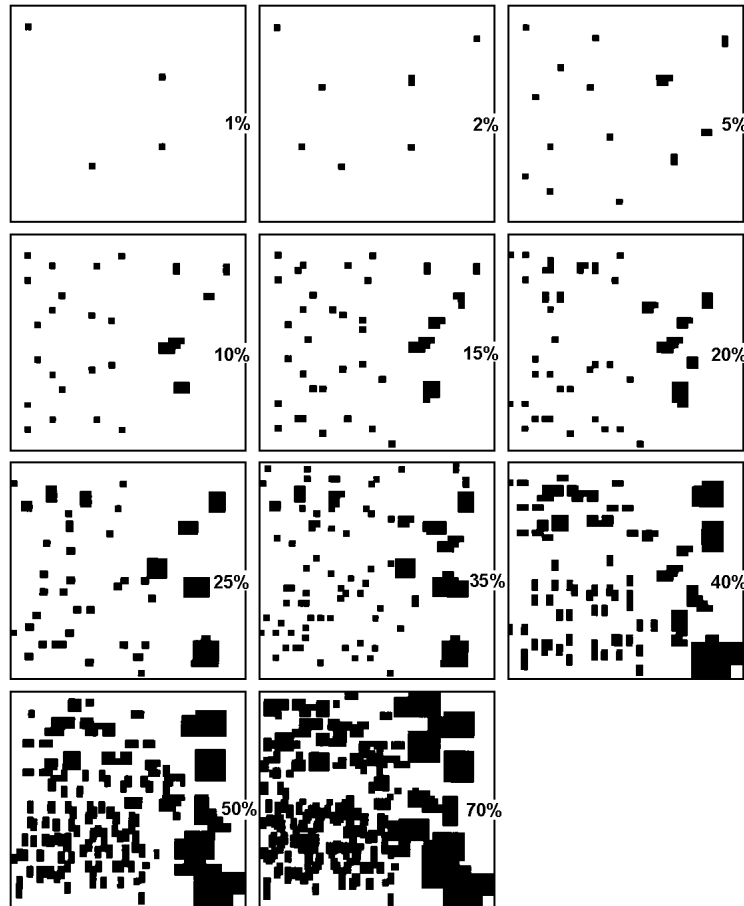


Figura 6.11. Quantificação da densidade de uma feição espacial (FERANEC et al., 1995 *apud* BOSSARD et al., 2000).

## 6.2. Classificação Automática de Imagens

Crósta (1992) explica que um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir e identificar as diferentes composições dos materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de cobertura do solo, solos, geologia ou outros. Assim, é possível afirmar que o objetivo da classificação de uma imagem de satélite é a elaboração de uma carta temática.

Este item encontra-se dividido em classificação multiespectral, que se baseia na resposta espectral dos alvos a serem identificados e em classificação orientada a objeto, que considera, também, o arranjo espacial dos pixels.

### 6.2.1. Classificação Multiespectral de Imagens

Classificação multiespectral é o processo de seleção de pixels em um número determinado de classes individuais, ou em categorias de dados, baseando-se nos valores dos *digital numbers* (DN) destes pixels. Os valores numéricos dos pixels são comparados a

determinados critérios, com os quais o pixel, então, é atribuído a uma determinada classe (SCHRADER e POUNCEY, 1997). Este processo também é chamado de segmentação da imagem.

Estas classes obtidas automaticamente podem ser exibidas com cores diferentes, o que gera uma carta temática com as classes de interesse (Figura 6.12). Como o sistema pode quantificar o número de pixels de cada classe e como a área de cada pixel é conhecida, o sistema pode informar a área ocupada por cada classe.

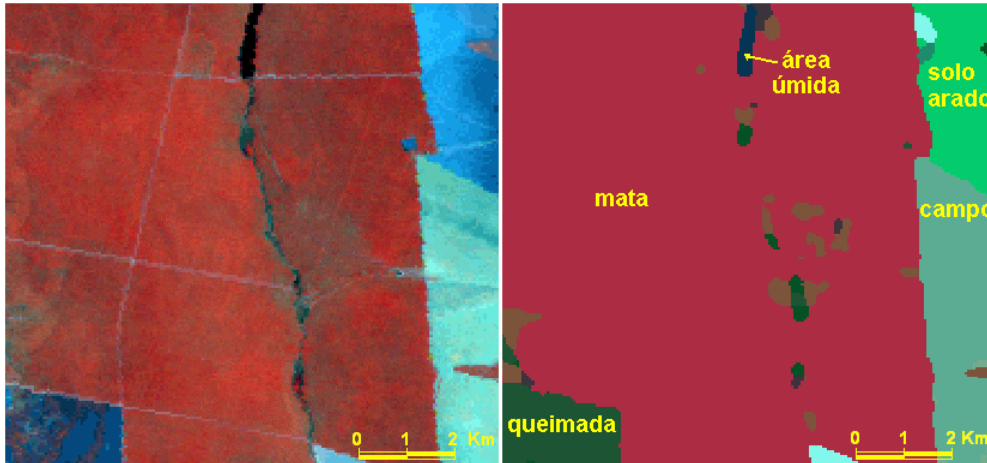


Figura 6.12. Exemplo de classificação de imagem, a imagem original, à esquerda e a classificada à direita. Neste caso, uma classificação automática supervisionada de uma Imagem Landsat. Por ser capaz de identificar os diferentes *pixels*, o sistema pode quantificar as áreas de cada uma das coberturas do solo encontradas (PARANHOS FILHO, 2000).

Pode-se solicitar ao sistema de processamento digital de imagens que classifique automaticamente as imagens de satélite em dois modos de classificação automática:

- Supervisionada
- Não Supervisionada

#### 6.2.1.1. Classificação Automática Não Supervisionada

Este tipo de classificação não requer um trabalho inicial de treinamento do sistema, porém o usuário deverá ser capaz de reconhecer as classes criadas pelo algoritmo de classificação não supervisionada (SCHRADER e POUNCEY, 1997).

A classificação não supervisionada baseia-se no princípio de que o sistema é capaz de identificar por si só as diferentes classes que compõem a imagem (CRÓSTA, 1992).

A parte de treinamento não supervisionado é também chamada de agrupamento (*clustering*), porque é baseada no agrupamento natural dos pixels na imagem pela sua similaridade (SCHRADER e POUNCEY, 1997). Estes agrupamentos, também chamados de nuvens, são automaticamente identificados e usados como área de treinamento para a classificação (CRÓSTA, 1992).

#### 6.2.1.2. Classificação Automática Supervisionada

A classificação automática supervisionada redivide estatisticamente a imagem em classes baseadas nas áreas de treinamento (*training samples*) fornecidas ao sistema pelo usuário. Algoritmos, como máxima verossimilhança por exemplo, são utilizados para classificar o pixel (os seus *digital numbers*), de acordo com sua máxima semelhança a cada uma das diferentes classes criadas durante o processo (Figura 6.13). Durante a classificação, os pixels com informações em dúvida podem ser classificados posteriormente. Para que o sistema possa efetuar a classificação ele deve ser "treinado".

Este "treinamento" consiste em o usuário fornecer ao sistema amostras dos padrões que devem ser reconhecidos. Estas amostras podem ser obtidas em campo ou através de outras fontes, como fotografias aéreas.

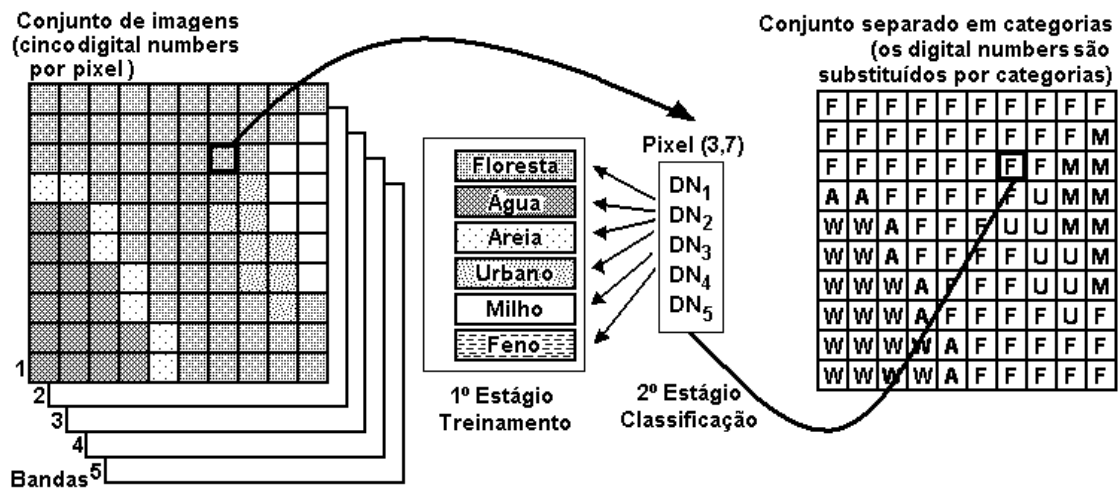


Figura 6.13. Esquema da classificação automática supervisionada. Num primeiro estágio os dados numéricos (*digital number*) são reconhecidos das áreas de treinamento fornecidas pelo usuário para identificação da assinatura espectral. Num segundo passo, cada pixel (ainda desconhecido) é comparado à categoria mais similar. No terceiro estágio os resultados são apresentados (mapas, tabelas, bancos de dados SIG). Notar que o resultado pode ser contado *pixel* a *pixel*, fornecendo assim a área ocupada por cada classe (adaptado de LILLESAND e KIEFER, 1994).

Nesse sentido também há a possibilidade de utilização de complementos em *softwares* livres, como é o caso do *plugin* de classificação *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) que foi desenvolvido para o QGIS e que possibilita a classificação *pixel* a *pixel* ou supervisionada de imagens, permitindo criar áreas amostrais de forma rápida em formato *shapefile*, obter assinaturas espectrais e até visualizá-las em histograma (QGIS BRASIL, 2015). O SCP possui ferramentas para *download* de imagens e realiza trabalho desde o pré-processamento como ajuste de refletâncias, fusão e correção atmosférica ao pós-processamento estimando a acurácia da classificação e o cálculo do coeficiente Kappa.

### 6.2.1.3. Seleção das Áreas de Treinamento

As áreas de treinamento se prestam a informar ao sistema quais são as classes a serem identificadas durante o processo de classificação automática supervisionada. Para uma classificação mais precisa deve-se primeiramente buscar áreas de treinamento em campo e posteriormente utilizá-las na classificação da imagem. Estas áreas de treinamento-chaves devem ser distribuídas espacialmente de forma homogênea por toda a imagem, escolhendo-se feições bem distinguíveis, como mata, campo, rio, entre outras (Figuras 6.14 e 6.15).



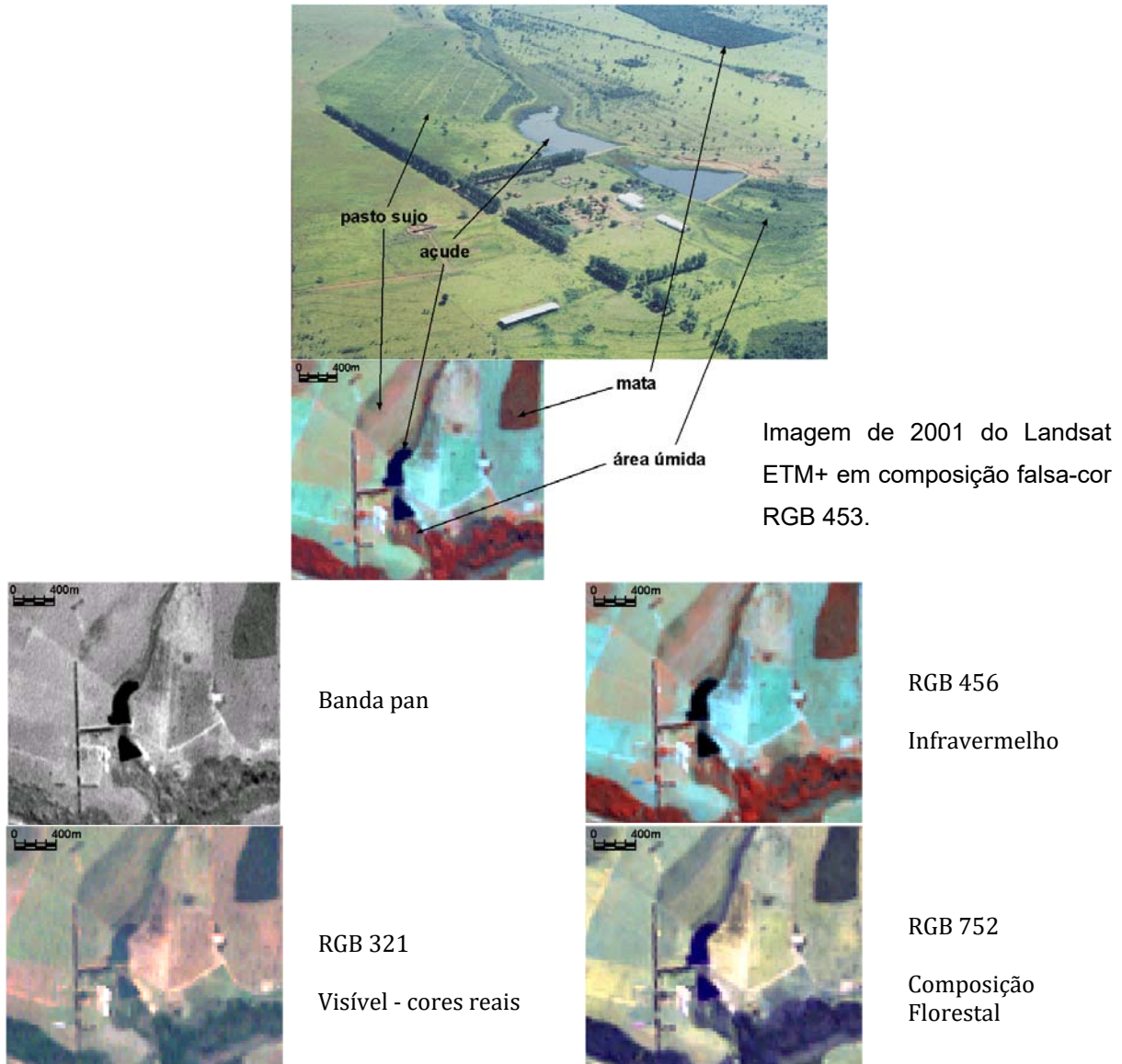


Figura 6.14. Exemplo de obtenção de áreas de treinamento para a classificação da imagem (MONTEIRO et al., 2003). O uso de diferentes composições auxilia na tarefa de identificação dos diferentes tipos de cobertura. A banda pancromática possui resolução espacial mais fina e permite melhor individualização dos alvos. As bandas multiespectrais possuem resolução espectral mais adequada à diferenciação do tipo de cobertura do solo.



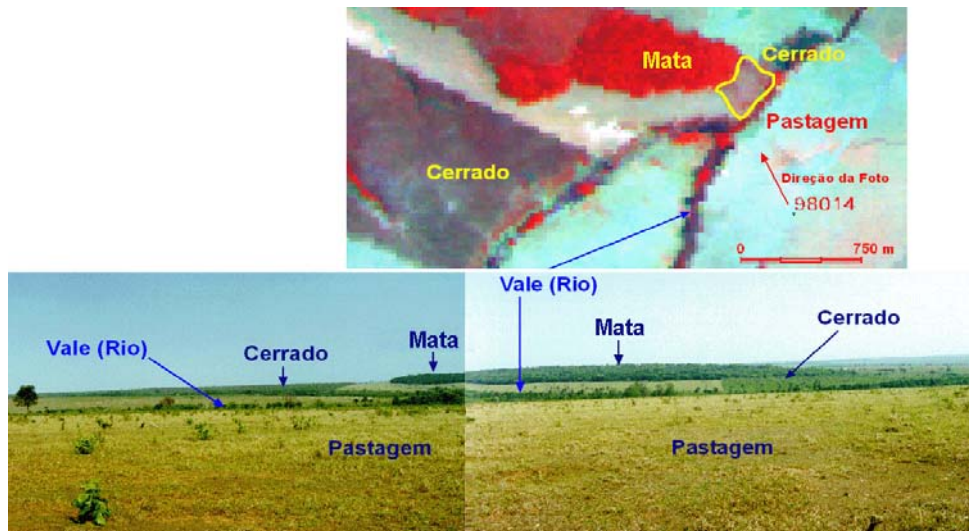


Figura 6.15. Exemplo de obtenção de dados para elaboração das chaves de classificação de imagens de satélite Landsat. Um mesmo local é comparado em campo e sobre a imagem de satélite (neste caso composição RGB-FCC-456) (PARANHOS FILHO, 2000).

### 6.2.2. Classificação Orientada a Objeto

Para a classificação orientada a objeto, a principal diferença em relação à classificação espectral é que os pixels não são classificados individualmente (ver Figura 6.16), mas em relação ao seu conjunto, como objetos que são identificados numa fase preliminar de segmentação da imagem (BAATZ et al., 2004). Ou seja, o sistema classificador não leva em conta apenas o *digital number* do pixel a ser classificado, onde não apenas o valor espectral interfere na classificação, mas também critérios de homogeneidade e de forma, agora de um conjunto ou grupo de *pixels*, são considerados. Este processo de agrupamento é chamado de segmentação (Figuras 6.17).

Figura 6.16. É possível ver o cão na imagem? Obviamente o nosso conhecimento anterior de como se parece um dálmata auxilia na interpretação da imagem (DEFINIENS, 2001). Pode-se fazer a analogia entre a maneira como é feita a classificação orientada a objeto e a maneira como se identifica o arranjo espacial das formas, neste caso apenas manchas pretas.



Foto de uma parede de tijolos.



Imagem segmentada.



Imagem Classificada.

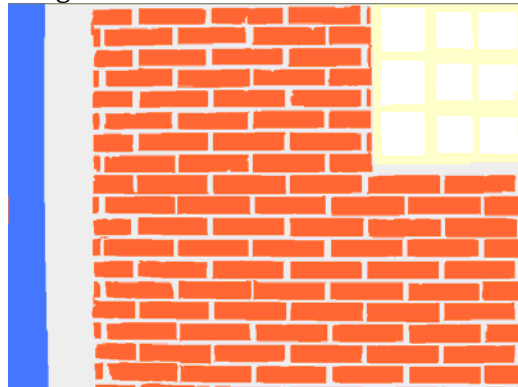


Figura 6.17. Exemplo de classificação orientada a objeto. Uma parede de tijolos foi escolhida propositalmente para evitar as conotações espectrais. O sistema classificador consegue reconhecer as diferentes feições presentes com base em seu arranjo espacial.

A segmentação é um sistema que gera uma série de polígonos, capaz de separar os objetos baseado em um algoritmo de similaridade, resultando numa imagem com divisões homogêneas. Esse critério tem padrões de compacidade, suavidade e resposta espectral pré-definidos pelo usuário, além da escala de segmentação. Com isso é possível criar um sistema de hierarquia de objeto em conjunto com um sistema também hierárquico, mas de classes.

Este tipo de classificação tem sido utilizado principalmente para imagens de alta resolução, que por captarem muitos detalhes diferentes (calçadas, gramados, casas, asfalto, terrenos baldios), apresentam uma confusão espectral. Contudo, com esse aumento do nível de detalhamento das imagens, os pixels vizinhos também começaram a ser relevantes com a informação de forma e textura desse conjunto, ou seja, este tipo de classificador permite o maior aproveitamento das imagens (Figura 6.18).

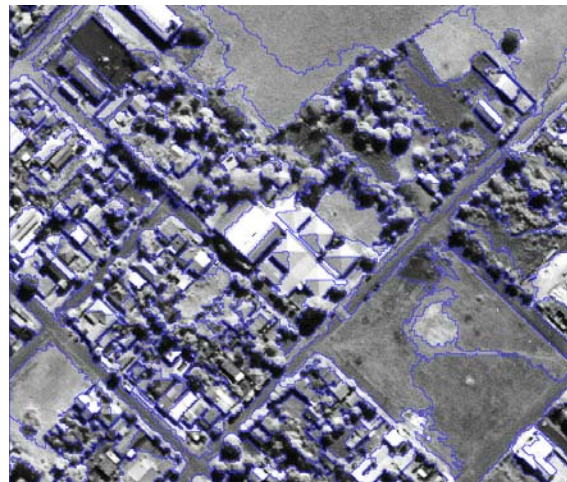


Figura 6.18. Exemplo de classificação orientada a objeto em uma área urbana. O sistema é capaz de distinguir os verdes urbanos de áreas impermeabilizadas.



Atualmente existem vários *softwares* que fazem a segmentação. Entre os licenciados o mais difundido é o eCognition (DEFINIENS, 2001), desenvolvido para análise automática de dados de sensoriamento remoto com vários algoritmos de segmentação personalizados para diferentes análises baseando-se em objetos. Um exemplo de segmentação realizada nesse *software* está representado na Figura 6.18, onde diferentes feições, como área construída, estrada pavimentada, espaço gramado, vegetação de porte arbóreo, entre outras feições presentes na área, foram bem delimitados.

Em relação aos *softwares* livres, tem-se utilizado para a segmentação de imagens o Monteverdi (CNES, 2014), Saga (DEPARTAMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY, 2014) e SPRING (INPE, 2014). Dentre esses, o mais consagrado no meio científico é o SPRING por ser um dos *softwares* livres mais antigos com a ferramenta de segmentação, dessa forma a mesma foi aprimorada com o passar dos anos e atualmente é dotada de vários algoritmos que possibilitam aplicações em diversas áreas. Na Figura 6.19 é possível analisar uma segmentação realizada nesse *software* em uma fotografia aérea sintética obtida a partir de uma câmera convencional acoplada em um veículo aéreo não tripulado (VANT). Na referida segmentação, adotou-se como parâmetro 20 de similaridade e 200 de área, com algoritmo *Bhattacharya*.

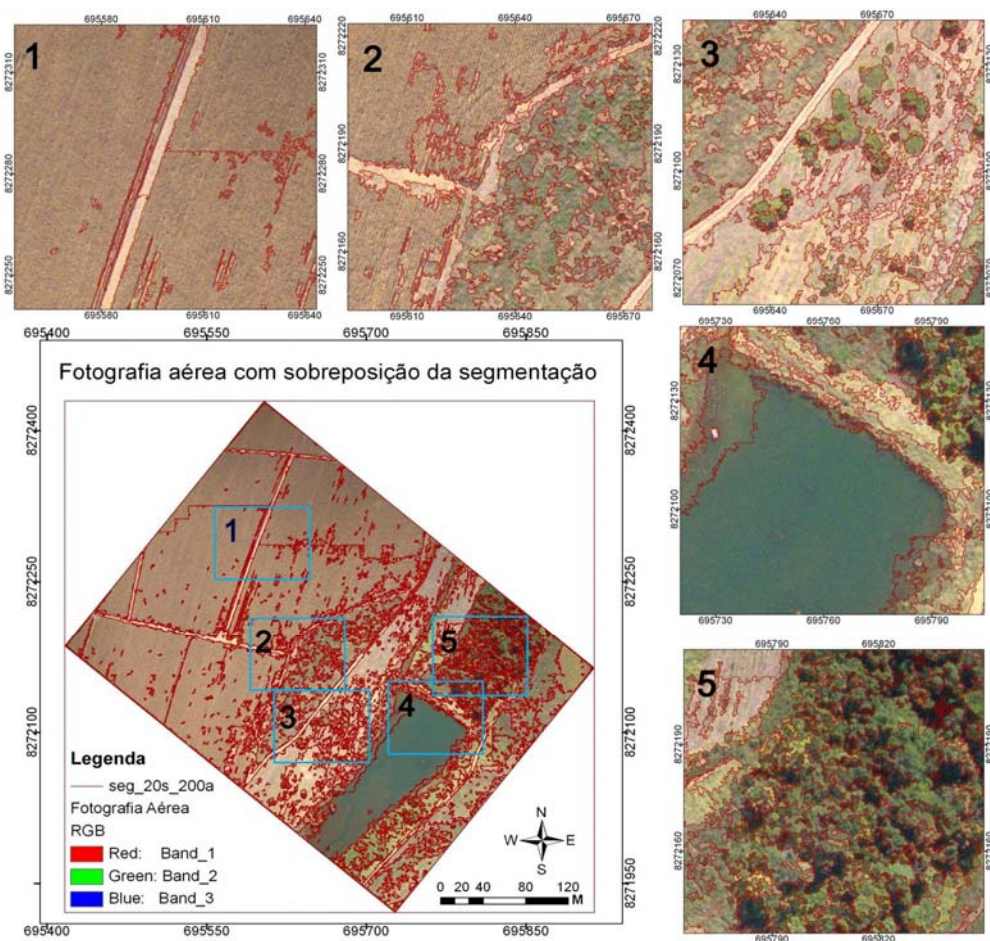


Figura 6.19. Exemplo de segmentação no SPRING (INPE, 2014). Os parâmetros utilizados foram 20 de similaridade e 200 de área.

Na Figura 6.19, no detalhe 1 verifica-se que a estrada e a área agrícola foram bem delimitadas, assim como pequenas falhas presente na plantação. Já no detalhe 2 percebe-se que o programa foi capaz de distinguir dois tipos de vegetação, conforme a coloração diferenciada, assim como área de solo exposto. No detalhe 3, há a segmentação da estrada que separa dois padrões de cobertura do solo diferenciados. No detalhe 4 foram delimitados a represa e as

macrófitas presentes na mesma, solo exposto, vegetação rasteira, mata e as sombras presentes na mata também foram demarcadas com êxito. Por fim, no detalhe 5 é possível verificar que a mata e as sombras foram bem segmentadas, assim como algumas áreas de vegetação rasteira. Uma boa segmentação é de suma importância, pois a partir da mesma é possível gerar classificações mais condizentes com a realidade da área de estudo.

### 6.2.3. Aplicações

As aplicações ambientais da fotointerpretação e classificação de imagens são variadas. Como um exemplo, a partir do eixo das drenagens, utilizando imagens CBERS-2 (sensor CCD), Stefanos (2005), identificou as áreas onde a vegetação de APP (área de preservação permanente) estava presente e outras áreas onde era necessária a vistoria de campo para confirmar a existência de APPs (Figura 6.20).

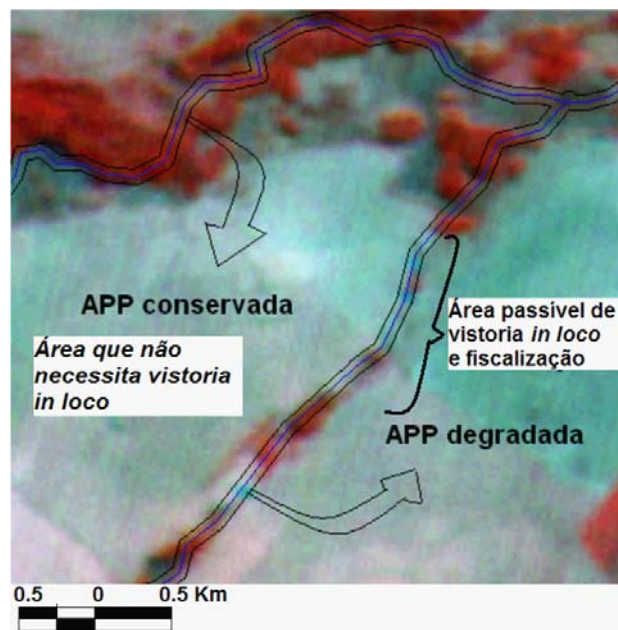


Figura 6.20. Sobre cenas CBERS-2, CCD, a partir do eixo das drenagens, Stefanos (2005) traçou, em modo automático, um vetor de contorno (60 metros total) para as áreas de proteção permanente - APPs em uma bacia hidrográfica. Na parte superior da imagem há APPs visivelmente vegetadas e na porção inferior estão em destaque regiões de APPs possivelmente antropizadas e, portanto, passíveis de ações de fiscalização.

Outro exemplo de aplicação da fotointerpretação de imagens pode ser feito em hidrogeologia. Nos dias atuais, a participação das águas subterrâneas no suprimento dos diferentes tipos de demanda, tem sido cada vez mais incrementada.

Embora os aquíferos formados por rochas sedimentares, onde a porosidade é do tipo intergranular, sejam os de maior potencialidade, as rochas que armazenam água em sistemas de discontinuidades do tipo lineamentos, como fraturas e falhas, não podem ser desprezadas.

É o caso, por exemplo, da Formação Serra Geral, constituída por uma sequência de derrames basálticos, que ocorrem em uma superfície de aproximadamente 1.000.000 km<sup>2</sup> na Bacia Sedimentar do Rio Paraná e que se constitui em um importante aquífero.

Historicamente, os trabalhos que abordam os aquíferos em meio fissurado, enfocam as fraturas verticais e subverticais como as principais zonas de circulação e acúmulo de água, enfatizando a necessidade de se caracterizar tais sistemas de lineamentos para a locação dos poços tubulares neste tipo de litologia.

Neste sentido, o emprego de geotecnologias torna-se uma ferramenta de fundamental importância para este tipo de estudo, pois além de se fazer a identificação dos lineamentos

verticais e subverticais em imagens de satélite, ou em fotografias aéreas, pode-se também associar às estas estruturas geológicas os seus posicionamentos espaciais e as suas dimensões.

Com base na utilização desta metodologia, Lastoria (2002) mostrou a relação entre a produção de poços tubulares e os lineamentos subverticais no Aquífero Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul, em sua área de afloramento de 40.000 km<sup>2</sup> (Figura 6.21), trabalhando com imagens Landsat TM-5.

A área de estudo foi dividida em 4 regiões, considerando-se a espessura das rochas basálticas e a piezometria do Aquífero Guarani, subjacente. Após a interpretação das imagens e o traçado dos lineamentos, calculou-se a intensidade média destas estruturas para toda área estudada, construindo-se um diagrama de vetores que indica as direções principal e secundária de descontinuidades. Este procedimento foi repetido para cada uma das regiões, comparando-se os resultados da geologia estrutural com os dados cadastrais de produção dos poços, cujas localizações encontravam-se georreferenciadas.

Neste caso, pode-se verificar que não existe uma relação significativa entre os lineamentos subverticais e a produção dos poços, concluindo-se pela relevância dos lineamentos sub-horizontais de grande continuidade, como responsáveis pela potencialidade dos poços tubulares aquíferos.

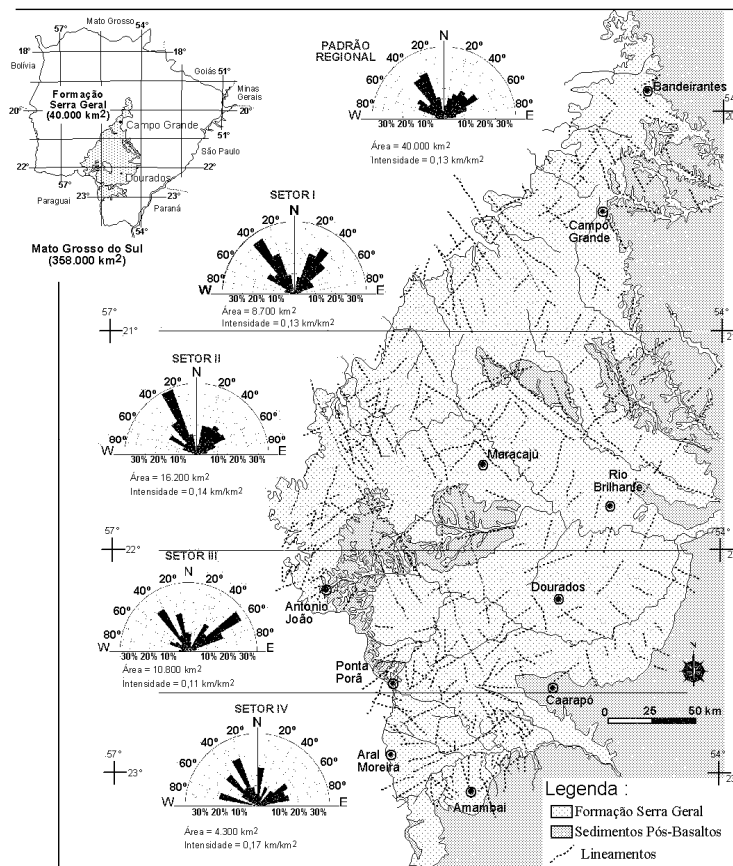


Figura 6.21. Lineamentos da Formação Serra Geral em Mato Grosso do Sul, obtidos da fotointerpretação de imagens Landsat TM por Lastoria (2002). Foi avaliada a direção e densidade dos principais lineamentos.

### 6.3. Cobertura do Solo, Uso e Ocupação

Talvez a informação que mais esteja disponível, ou seja, mais visível, em uma imagem de satélite é a de cobertura do solo, pois a imagem permite uma visualização e identificação direta



da rede viária, vegetação, hidrografia, padrões urbanos ou agrícolas e assim por diante. Essa análise se dá com a relação entre as respostas espectrais e os tipos de cobertura do solo.

O mapeamento de uso e ocupação do solo tem como objetivo fornecer subsídios às ações do planejamento regional, municipal e até setorial (ROSA, 1990). Porém cabe aqui a colocação de uma confusão de terminologia existente na área de obtenção de cartas de cobertura, uso e ocupação do solo. "Cobertura do solo" (*Land Cover*) não é necessariamente a mesma coisa que "Uso do Solo" (*Land Use*). Às vezes pode ser conveniente tratar as duas definições de modo distinto.

A classificação de uma imagem pode identificar um campo e com o emprego de informações adicionais pode-se chegar à conclusão de que este é um campo utilizado como pastagem. Portanto, a imagem mostra uma cobertura do solo de campo enquanto o uso do solo é pastagem ou outra prática de manejo. Outra situação do mesmo tipo: a imagem mostra uma área arada. Para saber se é realmente uma área agrícola é necessária informação complementar, pois pode se tratar de reforma de pastagem. Existem ainda as áreas de uso misto, a cada ano ou estação do ano podem apresentar um tipo de cobertura diferente.

Deve-se ter em mente que uma imagem reflete o estado da cobertura do solo apenas no momento da obtenção da imagem. Para se identificar o uso do solo é necessária informação complementar, como outras imagens do mesmo local, em outras épocas, ou controle de campo.

Informações adicionais também podem ser obtidas através de imagens térmicas que são eficientes para analisar a distribuição e influência de elementos naturais e construídos em cidades e áreas rurais e quando correlacionados com o uso da terra revelam informações importantes para distinção de tipo de cobertura vegetal e elementos construídos (SHIMOMURA e FERREIRA, 2018)

Existem diversas propostas de legendas de cobertura, com aplicações desde escalas locais até globais. A grande variedade de legendas utilizadas não apresenta um padrão. Parte desta confusão ocorre porque muitos usuários não seguem nenhuma das legendas elaboradas por projetos anteriores, mesmo aqueles que já visavam uma padronização do tema.

Assim, visando nortear o usuário de sensoriamento remoto na elaboração de carta de uso e cobertura do solo, neste capítulo, são apresentados alguns exemplos, incluindo a legenda do Projeto CORINE (*Coordination on Environment* - União Europeia), atualmente utilizada como legenda padrão pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006).

### 6.3.1. Legendas e Cobertura

O primeiro aspecto a ser considerado é que o desenvolvimento do sensoriamento remoto exige que os dados a serem utilizados levem em conta as características de dados gerados por sensores remotos e de dados que vão alimentar bancos do tipo SIG, portanto, serão trabalhados em ambiente computacional. Isto faz com que a carta de cobertura, assim como seu banco de dados associado, seja desenvolvida de maneira tal a aproveitar os recursos computacionais ao máximo.

Enfim, deve-se ter atenção no sentido de que os itens criados sejam compatíveis com a escala, tamanho da menor área mapeável e as informações básicas obtidas (PARANHOS FILHO, 2000). Por menor área mapeável entende-se qual a dimensão mínima que uma superfície deve ter de modo a ser relevante ao tipo de mapeamento realizado, de modo a não "sobrecarregar" a carta. A menor área mapeável é dependente da escala de trabalho e da escala de apresentação final.

### 6.3.2. USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

Desde os anos 40 tem-se registro do uso de fotografias aéreas pancromáticas de média escala no mapeamento do uso do solo (LILLESAND et al., 2004). Porém, nos anos 70, com o

início da obtenção das imagens de satélite, as legendas da época mostraram-se inadequadas e criou-se uma nova legenda que atendesse as necessidades criadas por diversos órgãos estaduais e federais Norte-americanos (ANDERSON et al., 1976). Como introdução a este trabalho, os mesmos autores, para justificar a importância de uma legenda de uso do solo adequado, mencionam ser esta uma questão de soberania e pré-requisito básico para o crescimento da nação, através do planejamento do uso adequado do solo.

O principal aspecto da nova legenda seria o de empregar dados orbitais ou de sensores de altas altitudes e deveria atender os seguintes critérios (ANDERSON, 1971):

1. O nível mínimo da acurácia da interpretação na identificação das categorias de uso e cobertura nos dados de sensoriamento remoto deve ser ao menos de 85%.
2. A acurácia da interpretação para as várias categorias devem ser quase igual.
3. Diferentes intérpretes devem chegar a resultados que se repitam ou possam ser repetidos, mesmo em diferentes imagens de um mesmo sensor.
4. O sistema de classificação deve permitir a aplicação em extensas áreas.
5. A criação de categorias deve permitir que a vegetação e outros tipos de cobertura sejam utilizados como substitutos para as atividades de uso.
6. O sistema de classificação deve ser adequado para ser utilizado em diferentes épocas do ano.
7. Deve ser possível o uso efetivo de subcategorias que possam ser obtidas de levantamentos ao solo, ou de levantamentos de maior escala, ou ainda de dados de sensoriamento remoto realçados.
8. A agregação de categorias deve ser possível.
9. Comparação com dados de uso obtidos futuramente deve ser viável.
10. Múltiplos usos da terra devem ser reconhecidos, quando possível.

A análise destes critérios e do trabalho dos autores (ANDERSON, 1971; ANDERSON et al., 1976) permite observar que os conceitos de cobertura do solo e uso do solo são mantidos como distintos, porém as categorias criadas devem conciliar, sem conflitos, ambos os conceitos.

Anderson et al. (1976) explicam que estes dados devem ser aplicados para uso e cobertura do solo como classificações gerais, porém mais especificamente para classificações de dados de sensoriamento remoto. Lillesand et al. (2004) observam que estes 10 critérios foram criados antes do amplo desenvolvimento do uso de imagens de satélite e das técnicas de classificação assistidas por computador. Enquanto a maioria dos itens resistiu ao teste do tempo, a experiência mostra que os dois primeiros critérios que se referem à consistência e acuracidade das classes criadas, nem sempre é atingível quando se mapeia uso e cobertura do solo em áreas extensas e complexas. Em particular, quando se usa métodos de classificação assistidos por computador, é frequente não ser possível mapear consistentemente em um único nível da hierarquia USGS. Isto acontece tipicamente devido à ambiguidade ocasional da relação entre a cobertura do solo e sua resposta espectral e as implicações disto em uso e cobertura do solo.

São propostos diferentes categorias ou níveis de classificação (ANDERSON et al., 1976 - Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Níveis de classificação do USGS para mapeamento (ANDERSON et al., 1976).

Nível	Características típicas dos dados	Prováveis aplicações
I	Dados do tipo Landsat.	

II	Dados obtidos de alta altitude 40.000 pés (12.400 m), ou mais alto. Escala menores que 1:80.000.	Mapeamento de grandes regiões, como todo o país ou todo um Estado.
III	Média Altitude: dados obtidos de 10.000 a 40.000 pés (3.100 a 12.400 m) de altitude. Escala de 1:20.000 a 1:80.000.	Geralmente utilizados em levantamentos mais detalhados.
IV	Baixa Altitude: dados obtidos abaixo de 10.000 pés (3.100 m). Escala maiores que 1:20.000.	

Ainda no seu trabalho Anderson et al. (1976) afirmam que a evolução das tecnologias fará necessária uma revisão dos termos para ajustes com as metodologias automatizadas. O aumento das resoluções dos sensores multiespectrais do sistema Landsat ocorrido após 1976 é um exemplo disto. Cabe lembrar que existe uma relação direta entre a escala de trabalho e a resolução espacial de imagens de sensoriamento remoto (ver mais detalhes em Capítulo 5.5. Resolução Espacial e Escala).

Neste contexto, Lillesand et al. (2004) apresentam uma versão atualizada para a Tabela 6.1, na Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Formatos representativos de interpretação de imagens para os diferentes níveis de classificação de uso e cobertura do solo (LILLESAND et al., 2004).

Nível	Formatos representativos
I	Dados de satélites de baixa a moderada resolução (tipo Landsat MSS).
II	Fotos aéreas de pequena escala, dados de satélites de moderada resolução (tipo Landsat TM).
III	Fotos aéreas de média escala, dados de satélites de alta resolução (tipo Ikonos).
IV	Fotos aéreas de grande escala.

A ideia do USGS era de que, fornecidos os Níveis I e II, os usuários criassem os níveis III e IV (Tabela 6.3). As bases disponíveis do USGS se ajustam bem com um levantamento de uso e cobertura do solo em Nível II (ANDERSON et al., 1976).

Tabela 6.3. Sistema de classificação de uso e cobertura do solo para uso com dados de sensoriamento remoto do USGS (traduzido de ANDERSON et al., 1976).

Nível I	Nível II
1 Urbano ou área construída	11 Residencial
	12 Comércio e serviços
	13 Industrial
	14 Transporte, comunicações e utilidade pública
	15 Complexos industriais e comerciais
	16 Urbano misto ou área construída mista
	17 Outro tipo urbano ou de área construída

GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

2 Área agrícola	21 agricultura e pastagem 22 Pomares, bosques, vinhas, viveiros e áreas de horticultura ornamental 23 Atividades de confinamento 24 Outros tipos de terra agrícola
3 Pradaria	31 Pradaria herbácea 32 Pradaria com arbustos e capoeira 33 Pradaria mista
4 Área florestada	41 Área de floresta decidual 42 Área de floresta sempre-verde 43 Área de floresta mista
5 Água	51 Cursos d'água e canais 52 Lagos 53 Reservatórios 54 Baias e estuários
6 Área úmida	61 Área úmida florestada 62 Área úmida não florestada
7 Terra estéril	71 Planície seca salgada 72 Praias 73 Área arenosa (não praia) 74 Afloramento rochoso 75 Faixas de cavas e mineração e cascalheiras 76 Áreas transicionais 77 Áreas estéreis mistas
8 Tundra	81 Tundra de arbustos e capoeira 82 Tundra herbácea 83 Tundra de solo nú 84 Tundra úmida 85 Tundra mista
9 Neve ou gelo perenes	91 Campos de neves perenes 92 Geleiras

Para escalas maiores é possível estabelecer um Nível III. Um exemplo deste detalhamento, para uma área residencial, pode ser visto na Tabela 6.4. O objetivo é avaliar capacidade, tipos e tempo de permanência. Obviamente, este Nível III requer informação complementar, além dos dados de sensoriamento remoto (ANDERSON et al., 1976).

Tabela 6.4. Exemplo de categorias de mapeamento de detalhe (ANDERSON et al., 1976).

Nível I	Nível II	Nível III
1 Urbano ou área construída	11 Residencial	111 Residência monofamiliar 112 Residência multifamiliar 113 Dormitórios 114 Hotel residencial 115 Parque de <i>motor-homes</i> 116 Alojamento temporário 117 Outro

Uma categoria de Nível II pode ser diretamente subdividida em duas de Nível III (Tabela 6.5 – ANDERSON et al., 1976):

Tabela 6.5. Nível III criado diretamente de uma classe Nível II (ANDERSON et al., 1976).

Nível I	Nível II	Nível III
2 Área agrícola	21 Agricultura e pastagem	211 Agricultura 212 Pastagem

Anderson et al. (1976) explicam que outros níveis de detalhamento podem ser feitos, chegando-se a um nível IV ou mesmo V. Os autores sugerem que até reestruturações podem ser feitas. Na Tabela 6.6 tem-se um exemplo onde áreas irrigadas são transformadas em uma categoria com mais informações.

Tabela 6.6. Possível reestruturação para tornar uma classe mais ampla (ANDERSON et al., 1976).

Área agrícola irrigada	Área agrícola não irrigada
Agricultura Pastagem Pomares, bosques e assim por diante	Agricultura Pastagem Pomares, bosques e assim por diante

Outros aspectos importantes, já utilizados nas bases do USGS, referem-se à área mínima mapeável para áreas "naturais", que é de 4 ha, com uma largura mínima de 400 m. Os menores polígonos representando culturas também são de 4 ha, porém com uma largura mínima de 200 m (LILLESAND et al., 2004).

A legenda do USGS permite conciliar dados de sensoriamento remoto e de outras fontes, como levantamentos de campo. É uma legenda focada na descrição de recursos naturais, em especial os Norte-Americanos e, obviamente, deve ser adaptada para uso em outras regiões. Um aspecto muito importante é que cada uma das classes de Nível II apareça descrita detalhadamente no trabalho, evitando-se confusão sobre quais são os critérios de identificação de cada classe. A estrutura básica deste trabalho é válida e utilizada até os dias atuais, o que pode ser considerado um indício da viabilidade de uso deste sistema.

### 6.3.3. Corine

Dentro do contexto do projeto CORINE - "*Coordination of information on the environment*" (CORINE, 1992; HEYMANN et al., 1994), firmado pelos países membros da Comunidade Europeia em 27 de junho de 1985, foi desenvolvido, como parte deste, o Projeto de Cobertura dos Solos do CORINE, com o objetivo de fornecer uma base de informações geográficas localizadas, consistente, do tipo de cobertura dos solos dos Estados Membros da Comunidade Europeia.

O projeto de cobertura dos solos deveria prover o Projeto CORINE e o maior número possível de usuários, com informações que deveriam ser homogêneas, completamente comparáveis por todos os países envolvidos e ser atualizáveis periodicamente.

Três elementos do Projeto de Cobertura dos Solos do CORINE são determinados pela natureza da informação desejada (HEYMANN et al., 1994):

- a escala de mapeamento usada;
- a definição da unidade de área e o tamanho da menor unidade mapeável;
- a nomenclatura de cobertura dos solos.



A “estrutura lógica” teórica sobre a qual foi desenvolvida a nomenclatura criada pelo Projeto de Cobertura do Solo do CORINE (HEYMANN et al., 1994) está representada na Figura 6.22, englobando hipoteticamente todos os tipos possíveis de cobertura dos solos.

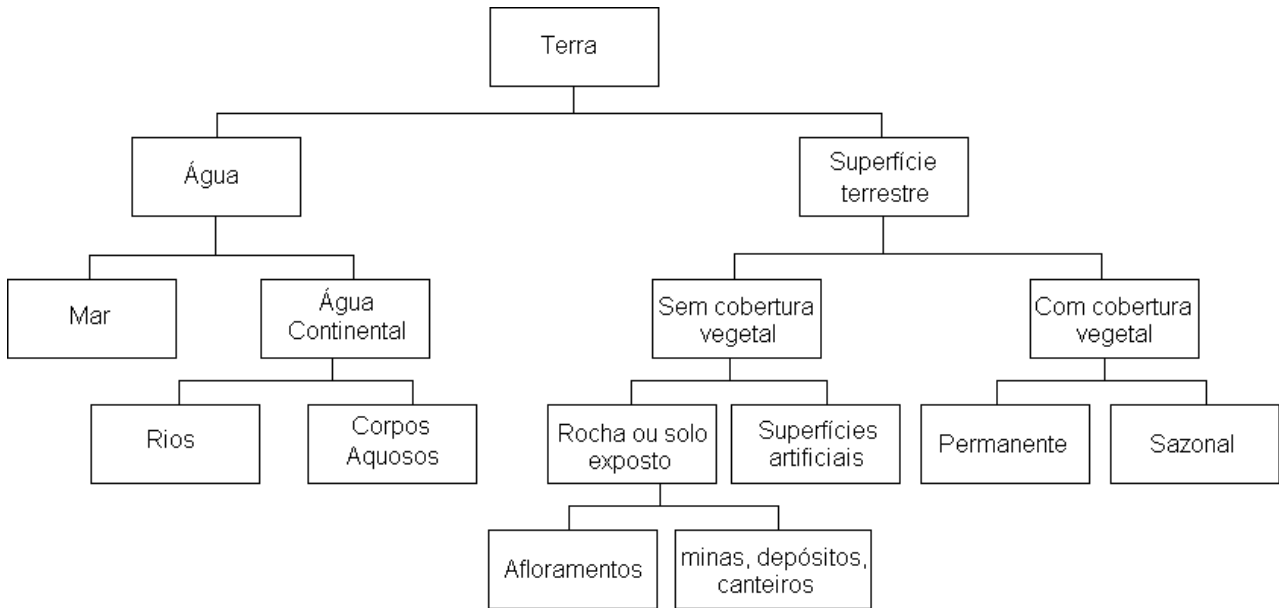


Figura 6.22. Esquema teórico para a construção de uma nomenclatura de tipos de cobertura dos solos (HEYMANN et al., 1994).

A Nomenclatura CORINE (Tabela 6.7) compreende três níveis:

- O primeiro, com cinco itens, indica as categorias maiores de cobertura dos solos no planeta (resumidas em um maior ou menor grau).
- O segundo nível, com 15 itens, é para o uso em escalas 1:500.000 e 1:1.000.000.
- O terceiro nível, com 44 itens, é usado em escala 1:100.000.

O mapeamento Nível 3 é na escala 1:100.000 (Tabela 6.7), com uma menor área mapeável de 25 ha.

Um quarto nível pode ser adicionado, para alguns, ou todos os itens, seguindo os seguintes pré-requisitos:

- os itens adicionais devem incluir todos os tipos de cobertura do solo correspondentes ao item de Nível 3 (códigos de quatro caracteres são usados somente por estes itens).
- os novos itens criados não podem se relacionar com mais de um item Nível 3.
- o mapeamento de cobertura do solo tipo CORINE (que é Nível 3), deve ser finalizado antes de iniciar o mapeamento de Nível 4.

Enfim, deve-se ter atenção no sentido de que os itens criados sejam compatíveis com a escala, tamanho da menor área mapeável e as com as informações básicas (dados obtidos por sensoriamento remoto, por exemplo).

Tabela 6.7. Nomenclatura de Cobertura do Solo criada pelo Projeto CORINE (HEYMANN et al., 1994).

Nível 1	Nível 2	Nível 3
1. Superfícies Artificiais	1.1. Padrão Urbano	1.1.1. Padrão Urbano Contínuo 1.1.2. Padrão Urbano Descontínuo
	1.2. Áreas Industriais, comerciais e de transporte	1.2.1. Unidades industriais ou comerciais
		1.2.2. Rodovias, ferrovias e terrenos associados
		1.2.3. Áreas portuárias
		1.2.4. Aeroportos

GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

	1.3. Mina, depósito de lixo e local de construção 1.4. Áreas vegetais, não agrícolas, artificiais	1.3.1. Local de extração mineral 1.3.2. Áreas de descarga e depósitos de lixo 1.3.3. Locais em construção 1.4.1. Áreas verdes urbanas 1.4.2. Áreas de lazer e esporte
2. Áreas agrícolas	2.1. Terra arada  2.2 Culturas permanentes  2.3. Pastos 2.4. Áreas agrícolas heterogêneas	2.1.1. Terra arada não irrigada 2.1.2. Terra constantemente irrigada 2.1.3. Campos de arroz 2.2.1. Vinhas 2.2.2. Pomares e árvores frutíferas 2.2.3. Oliveiras 2.3.1. Pastagens 2.4.1. Culturas anuais associadas com culturas permanentes 2.4.2. Padrões de cultivo complexos 2.4.3. Terra ocupada principalmente por agricultura, com áreas significativas de vegetação natural 2.4.4. Áreas agroflorestais
3. Florestas e áreas seminaturais	3. 1. Florestas  3.2. Vegetação arbóreo-arbustiva e/ou vegetação herbácea associada 3.3. Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.1.1. Floresta Latifoliada 3.1.2. Floresta de Coníferas 3.1.3. Floresta Mista 3.2.1. Pradaria Natural 3.2.2. Vegetação Arbustiva ( <i>moors e heathland</i> ) 3.2.3. Vegetação esclerófito 3.2.4. Área com vegetação arbustiva em evolução 3.3.1. Praias, dunas e planícies arenosas 3.3.2. Rocha Nua 3.3.3. Área de vegetação esparsa 3.3.4. Área Queimada 3.3.5. Geleiras e neves perenes
4. Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas continentais 4.2. Zonas úmidas costeiras	4.1.1. Pântanos internos 4.1.2. Turfeira 4.2.1. Pântanos salgados 4.2.2. Salinas 4.2.3. Planície Intra-maré ( <i>Intertidal flats</i> )
5. Corpos Aquosos	5.1. Águas continentais 5.2. Águas marinhas	5.1.1. Cursos de água 5.1.2. Corpos de água 5.2.1. Lagoas Costeiras 5.2.2. Estuários 5.2.3. Mares e oceanos

6.3.3.1. Exemplo de Uso do Nível 4 de Uma Classe do CORINE

Os trabalhos do CORINE na região da Toscana - Itália (REGGIONE TOSCANA, 1990), acrescentaram uma quarta classe aos terrenos agrícolas (Tabela 6.8). Isto para adaptar-se às próprias peculiaridades da região. O restante das demais classes não foi alterado.

Tabela 6.8. Exemplo de quarta classe CORINE (REGGIONE TOSCANA, 1990).

2. Áreas agrícolas	2.1. Terra arada	2.1.1. Terra arada não irrigada 2.1.2. Terra constantemente irrigada 2.1.3. Campos de arroz	2.1.1.1. Viveiros e Culturas protegidas 2.1.1.2. Outras Culturas
--------------------	------------------	---	---

2.2 Culturas permanentes	2.2.1. Vinhas	2.2.1.1. Culturas permanentes mistas com leve predominância de vinhas 2.2.1.2. Outras Vinhas
	2.2.2. Pomares e árvores frutíferas	2.2.2.1. Culturas permanentes mistas com leve predominância de arvores 2.2.2.2. Árvores frutíferas que recaem em áreas irrigadas 2.2.2.3. Castanheiras 2.2.2.4. Outras árvores frutíferas
	2.2.3. Oliveiras	2.2.3.1. Culturas permanentes mistas com leve predominância de oliveiras 2.2.3.2. Outras oliveiras
2.3. Pastos	2.3.1. Pastagens	
2.4. Áreas agrícolas heterogêneas	2.4.1. Culturas anuais associadas com culturas permanentes	
	2.4.2. Padrões de cultivo complexos	
	2.4.3. Terra ocupada principalmente por agricultura, com áreas significativas de vegetação natural	
	2.4.4. Área agroflorestais	

### 6.3.3.2. CORINE e a Legenda USGS

As semelhanças entre as legendas do CORINE e do USGS são grandes. O principal aspecto a ser considerado é que ambas foram desenvolvidas para serem utilizadas com dados de sensoriamento remoto e são numéricas e hierárquicas, o que facilita sua introdução em ambiente SIG. O CORINE é mais novo e incorpora algumas modificações que são interessantes para aplicações fora da União Europeia, diferentemente da legenda do USGS, desenvolvida visando a sua utilização para a América do Norte.

O material do CORINE (HEYMANN et al., 1994) é completo, facilitando a compreensão das classes e critérios adotados para seu reconhecimento. Detalha ainda todos os tipos de cobertura citados e apresenta também os conceitos e critérios para a escolha do sensor, bem como para a fotointerpretação de imagens. O CORINE deixa clara a importância de se trabalhar com materiais de apoio, como cartas e levantamentos de campo para uma melhor acurácia na escolha das classes de cobertura do solo.





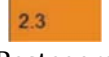
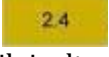

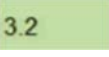
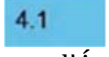
Existem várias publicações e atualizações do CORINE, empregado presentemente nos mesmos padrões. Mais informações podem ser obtidas no *site* da Internet da Agência Ambiental Europeia ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)).

### 6.3.4. IBGE

O IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1999) explica que as legendas de uso da terra compreendem um conjunto de informações relativas às Classes de Uso, aos tipos, às espécies utilizadas e às tecnologias aplicadas. Assim, o IBGE (2006) iniciou as atividades do seu programa de Mapeamento Sistemático do Uso da Terra, objetivando o recobrimento do País em termos da classificação dos tipos de uso, a análise dos impactos e a definição dos indicadores da qualidade ambiental.

O desenvolvimento das atividades levou em consideração as experiências adquiridas pelas equipes da Coordenação de Geociências, no âmbito dos diagnósticos ambientais e, como referência internacional, o CORINE (IBGE, 2006) a qual já foi atualizada, sendo publicada sua terceira edição em 2013 (IBGE, 2013). Este mapeamento iniciou pela região norte do Brasil e a Tabela 6.9 mostra a legenda de um dos mapas produzidos já com a Legenda CORINE. Neste trabalho, o IBGE acrescenta uma escala de cores e reitera Heymann et al. (1994) citando que o Nível 1 da legenda representa a Cobertura da Terra, o Nível II associa um refinamento da interpretação da Cobertura com informações de campo e o Nível III representa a interpretação do conjunto de informações: imagem, observações de campo, entrevistas e bibliografia disponível.

Tabela 6.9. Exemplo de legenda de classes da cobertura e do uso da terra elaborada no Mapeamento Sistemático do Uso da Terra (IBGE, 2013).

NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	 1.1 Área Urbanizada	1.1.1 Vilas.
		1.1.2 Cidades.
		1.1.3 Complexos industriais.
		1.1.4 Áreas urbano-industrial.
		1.1.5 Outras áreas urbanizadas.
	 1.2 Área de Mineração	1.2.1 Minerais metálicos.
		1.2.2 Minerais não metálicos.
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	 2.1 Cultura Temporária	2.1.1 Graníferas e cerealíferas.
		2.1.2 Bulbos, raízes e tubérculos
	 2.2 Cultura Permanente	2.2.1 Frutíferas permanentes.
		2.2.2 Frutos secos permanentes.
		2.2.3 Espécies permanentes produtoras de fibras.
	 2.3 Pastagem	2.3.1 Pecuária de animais de grande porte.
	 2.4 Silvicultura	2.4.1 Reflorestamento.
3. Áreas de Vegetação Natural	 3.1 Área Florestal	3.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em área florestal.
		3.1.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área florestal.
		3.1.3 Terra indígena em área florestal.
	 3.2 Área Campestre	3.2.1 Unidades de conservação de proteção integral em área campestre.
		3.2.2 Unidades de conservação de uso sustentável em área campestre.
4. Água	 4.1 Corpo d'Água Continental	4.1.1 Unidades de conservação de proteção integral em corpo d'água continental

### 6.3.5. Outras Aplicações do CORINE no Brasil

Paranhos Filho (2000) usou a legenda CORINE em uma análise multitemporal no Mato Grosso do Sul, adaptando as classes CORINE de HEYMANN et al. (1994), com as coberturas Sul-mato-grossenses com características análogas (Tabela 6.10).

Neste trabalho, as áreas naturais caracterizadas por associações vegetais típicas do Cerrado, em consequência da latitude, condições climáticas e fisiográficas da região, diferentes daquelas européias, foram associadas às classes CORINE com as quais havia a máxima analogia. Por exemplo, as áreas de cerrado estão classificadas como 3.2.2., definida originalmente por Heymann et al. (1994) como áreas de vegetação arbóreo-arbustiva - “*moors and heathland*”. A exemplo de Heymann et al. (1994), Paranhos Filho (2000) apresenta os critérios de identificação de cada classe descritos em pranchas de identificação (exemplo na Figura 6.23), o que permite a outros fotointérpretes, futuramente, usarem os mesmos critérios na identificação dos tipos de cobertura, ou ainda, compreendendo os critérios utilizados, alterar ou atualizar os dados de cobertura da região estudada conforme suas necessidades.

Tabela 6.10. Classes de cobertura dos solos do Projeto CORINE usadas por Paranhos Filho (2000) (adaptadas de HEYMANN et al., 1994).

Nível 1	Nível 2	Nível 3
1. Superfícies Artificiais	1.1. Padrão Urbano Indistinto	
2. Áreas agrícolas	2.1. Terra arada	2.1.1. Área arada não irrigada 2.1.2. Área constantemente irrigada
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastagens
3. Florestas e áreas seminaturais	3.1. Florestas	3.1.1. Floresta Latifoliada
	3.2. Arbustos e/ou vegetação herbácea associada	3.2.1. Pradaria Natural 3.2.2. Cerrado
	3.3. Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.3.2. Rocha Nua 3.3.3. Área de vegetação esparsa 3.3.4. Área Queimada
4. Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas continentais	4.1.1. Áreas Úmidas
5. Corpos Aquosos	5.1. Águas continentais	5.1.1. Cursos de água
		5.1.2. Corpos de água

Outro exemplo de aplicação CORINE, Nível IV é o desenvolvido por Carrijo (2005) em uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, MS (Tabela 6.11). É interessante observar que neste caso além de se adequar às características peculiares do bioma cerrado, a nomenclatura do CORINE permitiu a adoção de uma chave fitofisionômica específica (RIBEIRO e WALTER, 1998), sem tornar a base de dados inconsistente. Esta base pode ser atualizada periodicamente e novos tipos de cobertura podem ser adicionados ou relacionados a outras chaves fitofisionômicas, sem causar inconsistência nos dados.

Tabela 6.11. Classes de cobertura dos solos do Projeto CORINE da área do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari – MS, adaptadas de Heymann et al. (1994) segundo Carrijo (2005), adaptada à terminologia de Ribeiro e Walter (1998) para o Bioma Cerrado.

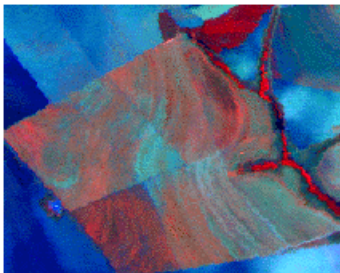
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
2. Áreas agropecuárias	2.1. Terra Agricultável	2.1.1. Área arável não irrigada	2.1.1.1 Lavoura de soja 2.1.1.2 Lavoura de algodão
	2.3. Pasto	2.3.1. Pastagens	2.3.1.1. Pasto limpo 2.3.1.2. Pasto sujo 2.3.1.3 Pasto queimado



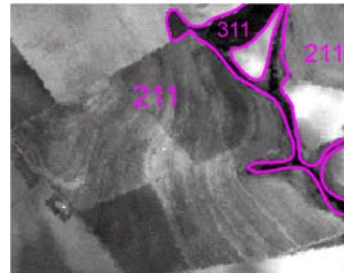
3. Áreas com vegetação natural e seminaturais	3.1. Formações Florestais	3.1.1. Classe constituída por mata e cerradão, vegetação cuja fisionomia é florestal.	
	3.2. Formações savânicas e/ou campestres	3.2.1. Formações campestres - classe constituída por Campos naturais	3.2.1.1. Campo limpo - classe constituída por fitofisionomia herbácea encontrada com frequência nas encostas e nas chapadas
		3.2.2. Formações savânicas	
	3.3. Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.3.4. Área Queimada	
4. Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas continentais	4.1.1. Áreas úmidas	
5. Corpos aquosos	5.1. Águas continentais	5.1.2. Corpos de água	

### 2.1.1. Áreas Agrícolas (não irrigadas)

Como proposto por Heymann et al. (1994), plantações de cereais, leguminosas, forrageiras, culturas industriais, raízes comestíveis e demais tipos de culturas agrícolas.



Área agrícola próxima a São Gabriel D'Oeste - MS. Landsat TM 453, setembro de 1996 - escala 1:100.000.



Interpretação sobre a banda 7.

Áreas irrigadas apenas um período do ano são colocadas nesta classe.

É essencial haver informações complementares à imagem (como controle de campo) para a classificação de áreas 211.

A textura uniforme e a estrutura geométrica das áreas agrícolas são típicas e auxiliam o fotointérprete na identificação das classes 211 e 212.



Mesma área em composição RGB 321 - Landsat TM.

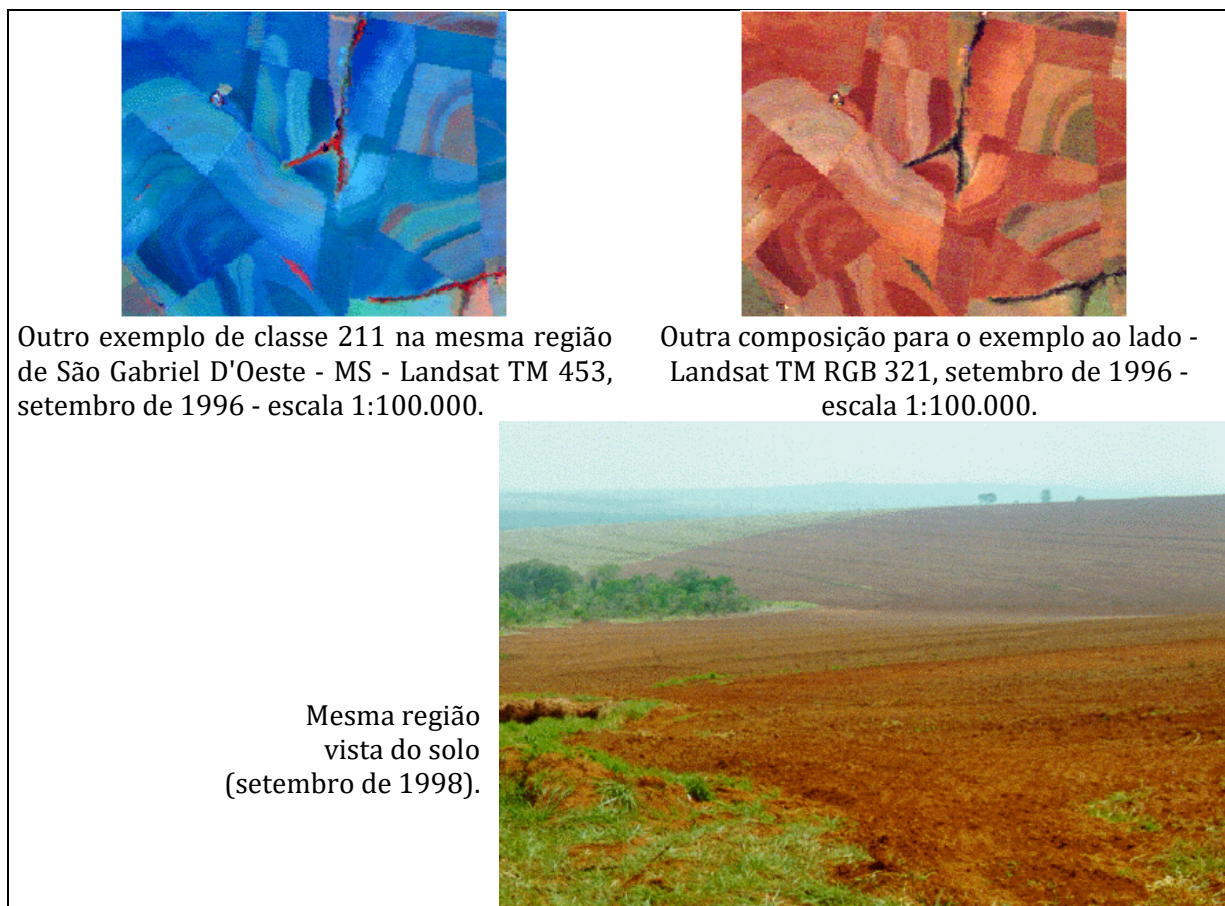


Figura 6.23. Exemplo de prancha com a descrição da Classe CORINE 2.1.1, utilizada por Paranhos Filho (2000). O objetivo deste tipo de material é esclarecer quais foram os critérios utilizados para uma escolha das áreas inclusas nesta classe.

#### 6.4. Considerações Finais

No encerramento do capítulo referente aos tipos de legenda de cobertura do solo cabe ainda citar que as legendas apresentadas possuem em comum a sua estrutura numérica e hierárquica, o que facilita sua utilização em bancos de dados (SIG ou não).

Estas legendas preveem ainda as peculiaridades necessárias ao uso de dados de sensoriamento remoto e, além disto, são previstas para serem atualizáveis, facilitando o monitoramento das regiões estudadas ao longo dos anos. O fato de estas legendas considerarem estes aspectos as torna vantajosas em relação a outros sistemas de classificação da cobertura do solo.

É ainda importante frisar que o Nível 3 CORINE, proposto para a escala 1:100.000, é para ser utilizado com apoio de controle de campo e informações complementares, como levantamentos anteriores, bibliografia, cartas topográficas, mapas temáticos ou fotografias aéreas.

#### 6.5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos das Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos

também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 6.6. Referências

- ANDERSON, J. R. Land-use classification schemes used in selected recent geographic applications of remote sensing. **Photogrammetric Engineering**, v. 37, n. 4, p. 379-387, 1971.
- ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. United States Geological Survey Professional Paper 964. Washington: United States Government Printing Office, 1976. 28 p.
- BAATZ, M.; BENZ, U.; DEGHANI, S.; HEYNEN, M.; HÖLTJE, A.; HOFMANN, P.; LINGENFELDER, I.; MIMLER, M.; SOHLBACH, M.; WEBER, M.; WILLHAUCK, G. **Ecognition 4 user guide**. Definiens Imaging. Germany. 2004. 486 p.
- BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. **CORINE land cover technical guide - Addendum 2000**. Technical Report nº 40. European Environment Agency: Copenhagen, 2000. 105 p.
- CARRIJO, M. G. G. **Vulnerabilidade Ambiental: o caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari - MS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.
- CNES. Centre National D'Études Spatiales. **Orfeo Toolbox (OTB)**. Monteverdi: Remote sensing software for Pleiades images analysis. Versão 2.0. Toulouse, France. 2014.
- CORINE. **CORINE Land Cover**. CORINE - Coordination of Information on the environment. Comm of European Communities, Bruxelas. 1992. 106 p.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. Ver. Campinas, SP: IG/Unicamp, 1992. 170 p.
- DEFINIENS. **Ecognition**. Version 8.0. Munchen, Alemanha. 2001.
- DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY. **SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses**. Versão 2.1.2. Hamburg, 2014. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- GUPTA, R. P. **Remote Sensing Geology**. Berlin: Springer, 1991. 356 p.
- HEYMANN Y.; STEENMANS C. H.; CROISILLE G.; BOSSARD, M. **CORINE Land Cover Project**. Technical Guide. EUR12585. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1994. 136 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 58 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8199.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 91 p. Disponível em: [http://coral.ufsm.br/cartografia/images/stories/imagens/aula/manual\\_uso\\_da\\_terra.pdf](http://coral.ufsm.br/cartografia/images/stories/imagens/aula/manual_uso_da_terra.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem CBERS 2**. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3, 4 e pan. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de Satélite. Órbita 163 ponto 123. De 7 de junho de 2004. 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 10 out. 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas**. Versão: 5.2.6. São José dos Campos: DPI/INPE. 2014. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Acesso em: 07 ago. 2020.

LANDSAT. **Landsat 7 ETM+**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 7 e pan. Curitiba: Engesat. Imagem de Satélite. Órbita 225 ponto 074. De 14 de junho de 2001. 2001. CD ROM.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2002. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2002. 133 p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley and Sons Inc, 2004. 763 p.

MONTEIRO, C. da S.; PARANHOS FILHO, A. C.; POLIZER, M.; ROCHA, F. de S.; RAMOS, N. H.; GAMARRA, R. M.; FERREIRA, T. da S.; TORRES, T. G.; VAL, L. A. A. do; OLIVEIRA, J. M. Z. P. da S.; CARRIJO, M. G. G.; LASTORIA, G. "Identificação de fitofisionomias com o apoio de sensoriamento remoto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2., 2003, Itajaí, SC. **Anais [...]**. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, 2003.

MOTTA, L. **Gimp Selection Feature**. QGIS Python Plugins Repository. 2016.

OLSON JR, C. E. Elements of photographic interpretations common to several sensors. **Photogrammetric Engineering**, v. 26, n. 4, p. 651-656. 1960.

PAIVA, Y. R. Y. **Avaliação da Cobertura Florestal em Terra Indígena da Amazônia Legal, por meio de Modelagem Espectral de Sequestro de Carbono**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2018.

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise GeoAmbiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. 2000. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2000. 213 p.

QGIS BRASIL. **Classificação Supervisionada de Imagens Orbitais com o Semi-Automatic Classification Plugin**. 2015. Disponível em: [http://qgisbrasil.org/blog/wp-content/uploads/2015/08/tutorial\\_scp\\_01.pdf](http://qgisbrasil.org/blog/wp-content/uploads/2015/08/tutorial_scp_01.pdf). Acesso em 10 de junho de 2020.

REGIONE TOSCANA. **Progetto Corine Land Cover per la Toscana**. Unione Europea. Bruxelas. Inédito. 1990. 60 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S.M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. 556 p.

ROSA, R. A. Utilização de Imagens TM/Landsat em Levantamento de Uso de Solo. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, São José do Rio Preto. **Anais [...]**. São José do Rio Preto: INPE, 1990. p. 419-425.

SCHRADER, S.; POUNCEY, R. **Erdas Field Guide**. 4. ed. Atlanta: Erdas Inc, 1997. 656 p.

SHIMOMURA, A. R. P.; FERREIRA, A. T. S. LCZ in Metropolitan Regions: Surface Temperature in urban and rural areas. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 34., 2018, Hong Kong. **Proceedings [...]**. Hong Kong, 2018. p. 796-801.

STEFANES, M. **Estudo de caso: utilização do satélite CBERS 2 para caracterização da cobertura do solo na bacia Hidrográfica do Rio Serrote, MS.** 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

VERGARA, M L. L. **Manual de Fotogeologia.** 2. ed. Publicaciones Cientificas de la junta de energia nuclear. Madrid: Servicio de Publicaciones de la J. E. N, 1978. 311 p.



## Dados Espaciais

Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1</sup>, José Marcato Junior<sup>2</sup>, Roberto Macedo Gamarra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>3</sup>Doutor em Ecologia e Conservação pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Geoprocessamento é o conjunto de técnicas de processamento e análise de dados espaciais. Muitos autores substituem os termos "dados espaciais" por dados ou informações geográficas.

Para Câmara et al. (2001), de forma genérica, "SE 'ONDE' É IMPORTANTE PARA SEU NEGÓCIO, ENTÃO GEOPROCESSAMENTO É SUA FERRAMENTA DE TRABALHO". Sempre que o "onde" aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de técnicas de geoprocessamento.

O geoprocessamento é uma ferramenta que permite o cálculo do valor da erosão laminar dos solos em uma determinada área. Ou ainda, integrando-se dados socioeconômicos e distribuição da população, pode-se analisar a inclusão e exclusão social. Permite ainda classificar e quantificar os recursos naturais. As concessionárias de serviços podem planejar e gerenciar suas redes de distribuição, ou mesmo, em telefonia móvel, se planejar a implantação das torres de redistribuição de sinais. Pode ser aplicado em segurança pública, pois o sistema pode informar qual é a viatura mais próxima e como se chegar ao lugar da ocorrência, pelo modo mais curto ou rápido. A variedade e gama de aplicações é muito extensa e envolve profissionais das mais diferentes áreas.

O geoprocessamento compreende:

- Cartografia: de modo digital ou não, pode ser cadastral, temática ou de outras áreas relacionadas com a topografia e agrimensura. Esta área do geoprocessamento envolve a elaboração de cartas e mapas.
- Sensoriamento remoto: atualmente é a mais importante forma de obtenção de dados ambientais e é o principal tema descrito neste livro.
- SIG - Sistemas de Informações Geográficas: sistemas que envolvem *hardware*, *software*, dados, informações e pessoal habilitado, representando importante ferramenta para a análise ambiental.
- Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS): equipamentos que fornecem a posição do usuário sobre o globo terrestre, em diferentes níveis de precisão.

As aplicações são inúmeras e variadas. Bancos de dados espaciais, cadastros multifinalitários, modelagem numérica de terreno ou análise de rede, são algumas das aplicações dos SIGs.

Câmara et al. (2001) afirmam que a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas.

Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas de modo analógico, com fotografias aéreas, documentos e mapas em papel. Isto dificultava uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo da informática, tornou-se possível armazenar, processar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o crescimento do geoprocessamento e para a utilização dos SIGs.

## 7.1. Dados Ambientais

Os dados ambientais são obtidos normalmente como um conjunto de valores, que podem estar regular ou irregularmente distribuídos, dependendo da forma como foram coletados, para representar uma determinada feição ou fenômeno da natureza. Estes valores podem ser modelados como amostras representativas de uma superfície contínua.

Porém, esta modelização deve levar em conta que dados ambientais são também dados espaciais, ou seja, a posição que este valor ocupa no espaço é importante. Uma analogia pode ser a seguinte: quando se joga um único dado, em um único lance, a probabilidade estatística de se obter o valor 1, 2, 3, 4, 5 ou 6 é a mesma (Figura 7.1). Por outro lado, com dados ambientais não é assim. Por exemplo, quando se analisa a contaminação da água de um lago (Figura 7.1), quanto mais próximo da fonte emissora de poluente se estiver, maior será a possibilidade de que o valor de contaminação cresça e vice-versa.

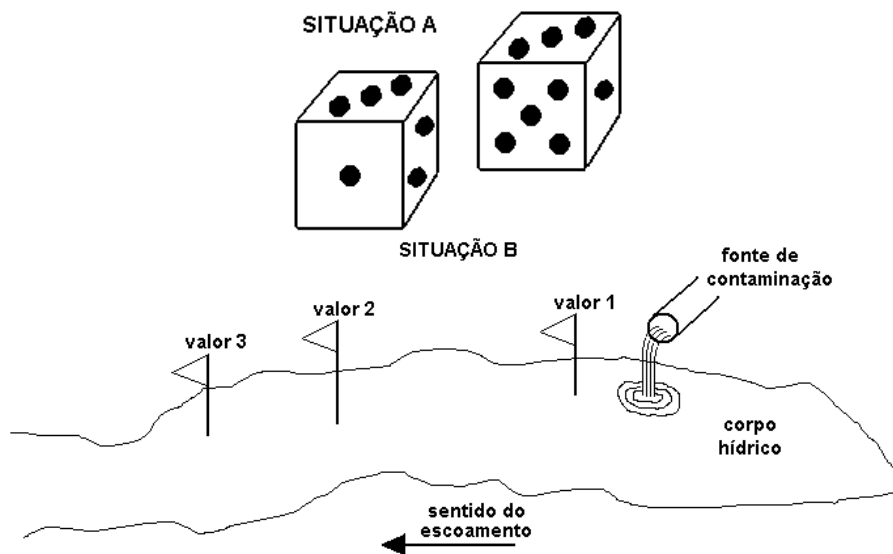


Figura 7.1. Duas situações diferentes para análise estatística. Em um único arremesso de um dado, os diferentes números têm a mesma possibilidade de ocorrer. Em uma lagoa contaminada, quanto mais próximo do foco de contaminação, provavelmente, maior será o valor de contaminação. O primeiro caso é tratado pela estatística e o segundo por uma parte especial desta: a geoestatística.

Assim, para o tratamento de dados ambientais não se aplica a estatística tradicional, mas a geoestatística, que para Druck et al. (2004) representa um conjunto de técnicas para reconstruir uma superfície, com base numa caracterização da similaridade espacial entre as amostras (o variograma). Central à abordagem da geoestatística é o conceito de estacionariedade, que supõe um comportamento homogêneo da autocorrelação espacial na região de estudo. Os autores explicam ainda que, como dados ambientais são resultantes de fenômenos naturais (como os processos geológicos), a hipótese de estacionariedade é sustentada com uma frequência até certo ponto surpreendente.

## 7.2. Raster e Vetorial

A manipulação de dados espaciais envolve dois tipos de formato de dados (Figuras 7.2 e 7.3):

Dados vetoriais - dados geométricos memorizados através das coordenadas e relações dos pontos significativos destes elementos: pontos (nós ou vértices), arcos e polígonos. Estas feições também são chamadas de elementares gráficos.

Dados  *raster*  - dados memorizados através da criação de uma grade regular, na qual à cada célula ( *pixel* ) vem associado um valor alfanumérico que representa um atributo, normalmente cor, mas pode representar também outros tipos de informações, como altitude ou teor de algum elemento químico.

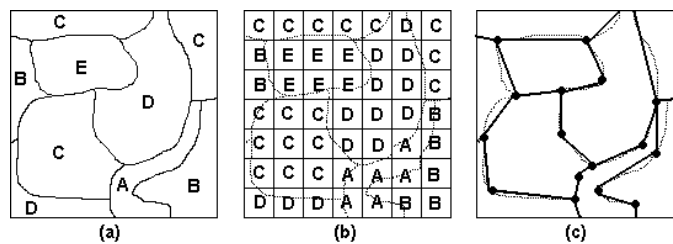


Figura 7.2. Comparação entre o mapa original (a), em formato  *raster*  (b) e no formato vetorial (c). As linhas tracejadas que aparecem de fundo nas figuras (b) e (c) não existem de fato. Servem apenas para comparação com o original.

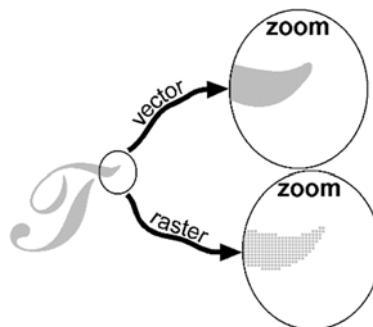


Figura 7.3. Exemplo da diferença de exibição entre imagens  *raster*  ou vetorial. Quando se efetua um  *zoom*  mais intenso, normalmente, a imagem  *raster*  exibirá as células (ou  *pixels* ) que a compõe.

Não é correto se dizer que dados *raster* são "melhores" que os vetoriais ou vice-versa. O que existe é a aplicação correta para cada um dos formatos (Tabela 7.1). Normalmente, em ambiente SIG, usam-se os dois formatos, muitas vezes ao mesmo tempo.

Tabela 7.1. Comparação entre aspectos de dados *raster* e vetorial (modificado de ASSAD e SANO, 1998; ROCHA, 2000).

ASPECTOS	FORMATO VETORIAL	FORMATO RASTER
Relações Espaciais entre objetos	Armazena informações sobre relacionamentos (topologia).	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos.
Ligação com bancos de dados	Pode ser mais fácil associar atributos aos elementos gráficos.	A cada <i>pixel</i> poder ser atribuído um valor. Porém o <i>layer raster</i> pode ser repetido <i>n</i> vezes, permitindo que cada <i>pixel</i> possua <i>n</i> atributos.
Análise, simulação e modelagem	Para fenômenos contínuos a representação é indireta. A álgebra de mapas é limitada.	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço. A simulação e modelagem são facilitadas.
Algoritmos	Problemas com erros geométricos.	O processamento pode ser mais rápido e eficiente.
Armazenagem	Por coordenadas (pode ser mais eficiente) e pode vir a ocupar menos espaço em disco comparativamente ao formato <i>raster</i> .	Padrão X, Y e Z. Pode vir a ocupar mais espaço em disco comparativamente ao formato vetorial.
Escala de Trabalho	Depende da escala de coleta ou da escala dos dados de entrada.	Depende da dimensão do <i>pixel</i> no terreno (resolução espacial).
Aplicações	Redes: Concessionárias de água, Esgoto, Lixo, Energia, Telefonia, Transportes, Bacias Hidrográficas, Cadastro...	Ambientais: Diagnóstico, Zoneamento, Planejamento, Gerenciamento, Manejo, Gestão ambiental, Fiscalização, ... Modelagem (modelos numéricos do terreno e modelos digitais de elevação).

Em ambiente SIG os dados vetoriais e *raster* coexistem e se integram alternadamente e são geralmente utilizados em conjunto, os primeiros para dados discretos e os segundos para dados contínuos. É possível converter, muitas vezes, em modo mais ou menos automático, dados vetoriais em *raster* e vice-versa.

Rasterização – a conversão de dados vetoriais em *raster* normalmente não é uma tarefa complicada, pois o monitor de vídeo do computador exhibe os dados, mesmo os vetoriais de forma *raster*, visto que o monitor também é constituído por *pixels*; o formato vetorial está na memória e no processamento da máquina. O termo rasterização também pode ser aplicado na conversão de dados (cartas, por exemplo) do meio analógico (papel) para o digital, via escaner.

Vetorialização – a vetorialização de dados *raster* pode ser uma tarefa mais delicada do que a rasterização, pois dependerá do tipo de dado a ser vetorializado. Em termos práticos, existem *softwares* que fazem este processo de modo totalmente automático. Embora existam vantagens no armazenamento vetorial para alguns tipos de bancos de dados, a vetorialização consome tempo e recursos. Pode ser feita automaticamente ou manualmente.

Vetorialização automática – feita por *software* especialista, pode ou não contar com o intermédio do usuário e, neste caso, é também chamada de semiautomática.

Vetorialização manual – pode ser feita diretamente ao monitor, ou seja, primeiro a carta (ou figura de interesse) é rasterizada e na sequência vetorializada em um computador. Ou ainda, convertida do meio analógico (carta, mapa, gráfico) para o vetorial em mesa digitalizadora.

Inserir dados em um computador através da digitação de conjuntos de dados tabular tipo X, Y, Z, também pode ser considerada uma maneira de converter dados do formato analógico em digital e, portanto, digitalização de dados.

### 7.3. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecem também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

### 7.4. Referências

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1998. 434 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. (eds.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2020.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000. 220 p.



# Geoestatística Aplicada a Dados Ambientais

**Marcelo Monteiro da Rocha<sup>1\*</sup>, Ciomara Souza Miranda<sup>2</sup>, Thais Gisele Torres Catalani<sup>3</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP., <sup>2</sup>Doutorado em Biotecnologia e Biodiversidade pela Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP.

**\*Autor correspondente:**

Marcelo Monteiro da Rocha, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: [mmrocha@usp.br](mailto:mmrocha@usp.br)

A geoestatística reúne técnicas de estimativa/interpolação de valores de variáveis com posição definida no espaço (variáveis regionalizadas). As estimativas são calculadas a partir do conhecimento do comportamento espacial das variáveis regionalizadas, ou seja, as estimativas fazem uso, em seu cálculo, da relação que dados vizinhos possuem entre si. Estes dados têm a mais diversa origem, são oriundos de amostragens realizadas para a mineração, exploração de petróleo, agricultura de precisão e, mais recentemente, a dados ambientais entre outras atividades.

Segundo Matheron (1963), a variável regionalizada é uma função que, em cada local do espaço possui um valor específico associado. Deste modo, a variável aleatória com posição definida no espaço, é uma variável regionalizada que pode ser escrita como  $Z(x)$ , onde  $Z$  é o valor que a variável em estudo assume no ponto  $X$  de coordenadas  $E$ ,  $N$  e cota. Ainda segundo Matheron (1963), as variáveis regionalizadas possuem como características: localização, suporte, continuidade e anisotropia. O suporte, nada mais é do que a área ou volume da amostra. O conceito de continuidade diz que as mudanças entre os valores das variáveis regionalizadas são contínuos e graduais de acordo com as distâncias de comparação. Por fim, a anisotropia pode ser observada quando a variável regionalizada apresentar um comportamento em uma direção e outro quando outra direção é analisada, esta é a característica mais importante reconhecida pelas variáveis regionalizadas. A geoestatística é baseada no estudo das variáveis regionalizadas e para realizá-la, segundo Armstrong (1998) deve-se assumir a hipótese intrínseca. Esta hipótese garante que a variância espacial é em média a mesma em todo o domínio, isto quando analisamos pontos alinhados em uma mesma direção e se separados pela mesma distância. O conceito da hipótese intrínseca carrega em si um outro conceito que é a estacionariedade de segunda ordem que considera a variância como sendo invariante a translação.

Segundo Deutsch e Journel (1992), a estacionariedade é uma propriedade do modelo e, conseqüentemente, a decisão sobre a existência de estacionariedade altera-se com a alteração da escala de estudo ou, ainda, se a base de dados for modificada com a adição de informação,

significando que o variograma experimental, que é a ferramenta básica da geoestatística, deverá ser recalculado sempre que a base de dados for alterada.

Na estatística clássica, a variância é a diferença quadrática média das amostras em função da média da distribuição, a variância espacial, de maneira similar, é uma medida de dispersão, porém ao invés de considerar a média como valor de comparação, consideram-se os valores vizinhos que estejam separados por uma distância  $h$ , conforme a função variograma:

$$2 \gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Onde:  $N(h)$  é o número de pares de pontos amostrais separados pela distância  $h$ ;  $Z(x_i)$  é a variável regionalizada no ponto  $x_i$  e  $Z(x_i + h)$  é a mesma variável, porém a uma distância  $h$  do ponto  $Z(x_i)$ .

Na estimativa por krigagem utiliza-se a função denominada semivariograma que é metade da função variograma, conforme:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Yamamoto e Landim (2013) destacam que existe certa confusão terminológica com relação ao termo variograma, pois há autores que utilizam o termo variograma apenas para  $2 \gamma(h)$  e semivariograma para  $\gamma(h)$  e há aqueles que se referem tanto a  $\gamma(h)$  quanto a  $2 \gamma(h)$  como variograma.

A análise geoestatística propriamente dita deve ser iniciada pelo cálculo do variograma experimental em diversas direções, buscando o reconhecimento de anisotropias. Este cálculo pode ser feito calculando-se o variograma experimental para 4 direções:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$  (caso bidimensional) ou 5 direções:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  e  $0^\circ$  mergulhando  $90^\circ$  (caso tridimensional). Em cada direção devem ser definidos os parâmetros de cálculo, que são o número de passos, o tamanho dos passos, a tolerância do passo, o número de direções, as direções e as tolerâncias angulares de cada direção. A definição destes parâmetros estabelece janelas de busca por pares de pontos para cada direção. Deve-se destacar que as direções podem ser alteradas de acordo com as conveniências, porém há a necessidade de realizar os cálculos sempre aos pares ortogonais, por exemplo  $5^\circ$  e  $95^\circ$ ,  $50^\circ$  e  $140^\circ$ .

O número de passos é o número de vezes que a distância se separação entre amostras será incrementada, por exemplo, se a primeira distância de análise (passo) for 10 m e o número do passos for definido como 4, isto significa que o primeiro ponto do variograma será a média de todas as diferenças ao quadrado de pares de pontos separados por 10 m, no segundo passo serão considerados apenas os pares de pontos que possuem 20 m de distância, o terceiro utilizará os pares de amostras separadas por 30 m e, por fim, o último passo considerará os pares de pontos com 40 m de distância. O tamanho do passo, ou simplesmente passo, é definido como a distância média entre os pontos amostrais. As tolerâncias angular e do passo são valores que serão adicionados ou subtraídos das direções e dos passos, de modo que os cálculos sejam feitos em classes de valores (de ângulos e de distâncias) conforme pode ser observado na Figura 8.1, tolerância angular e Figura e 8.2 passo e sua tolerância.

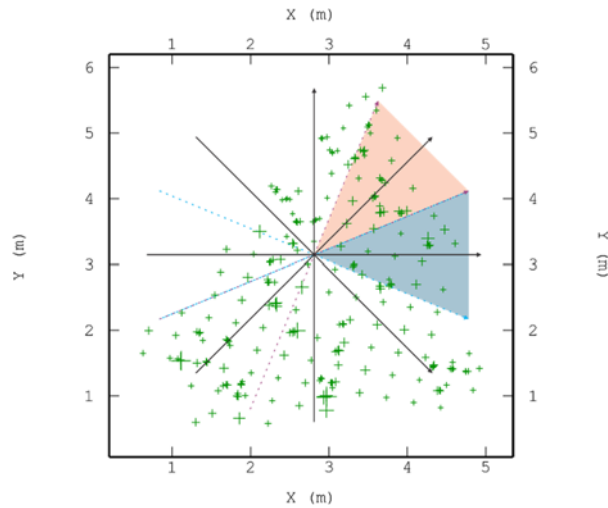


Figura 8.1. Duas direções de cálculo do variograma experimental e suas respectivas tolerâncias, triângulo preenchido em rosa é a direção de 45° com tolerância de 22,5° e o triângulo em azul é a direção de 90° também com tolerância de 22,5°.

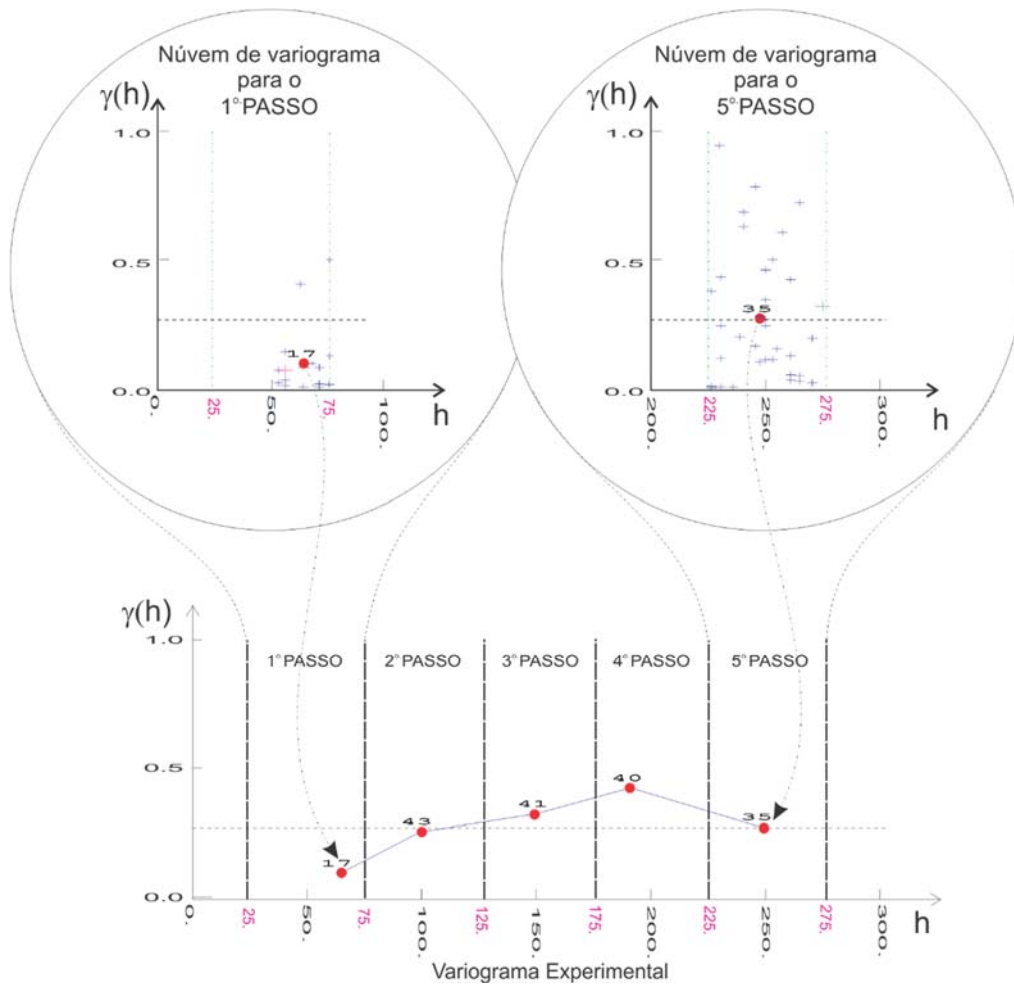


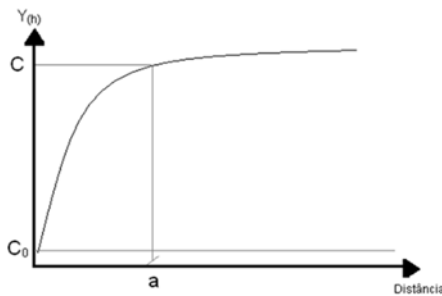
Figura 8.2. Variograma experimental mostrando os passos e suas respectivas tolerâncias, em destaque nos círculos mostram-se dois passos (o primeiro e o quinto) onde pode ser vista a variância espacial de todos os pares de pontos calculada como uma nuvem de pontos (modificado de ROCHA, 1999).

O objetivo deste procedimento é definir o comportamento espacial do fenômeno regionalizado além de, como mencionado, verificar a existência de anisotropia. Havendo

anisotropia, o variograma experimental deve ser recalculado para apenas duas ou três direções (2D ou 3D respectivamente) ortogonais.

Como pôde ser observado, a função variograma é matematicamente discreta, porém as estimativas geoestatísticas requerem o conhecimento da variância espacial de modo contínuo no domínio. Deste modo, deve-se ajustar ao variograma experimental uma função matemática contínua que é denominada modelo teórico de variograma. Existe mais de uma dezena de modelos teóricos de variogramas, como pode ser constatado em Chilès e Delfiner (1999). Desta dezena, apenas três ajustam mais de 90% dos casos de comportamento espacial, que são os modelos esférico, gaussiano e exponencial.

O ajuste do modelo teórico de variograma ao variograma experimental é realizado de modo interativo pelo usuário que define qual função melhor se ajusta e quais os valores que os parâmetros do modelo devem ter. Deve-se, portanto, definir o efeito pepita, a variância espacial (consequentemente o patamar ou soleira) e a amplitude ou alcance, como exemplificados na Figura 8.3.



Onde:

$Y(h)$ : Semivariância espacial para uma dada distância.

C: Semivariância estruturada

$C_0$ : Efeito Pepita

$C + C_0$ : Patamar ou soleira

a: Amplitude ou alcance

Figura 8.3. Parâmetros que devem ser definidos pelo usuário no momento do ajuste do modelo teórico de variograma ao variograma experimental.

O efeito pepita é o valor da variância espacial obtido em distâncias muito pequenas (GOOVAERTS, 1997). O valor da variância espacial para distâncias nulas deve ser igual a zero ( $\gamma(0) = 0$ ), porém na presença de efeito pepita, quando a distância tende a zero, o valor da variância será  $C_0$ . O efeito pepita é um fenômeno que pode refletir erros de medida e/ou inadequação na escala de amostragem, por exemplo, o fenômeno espacial estudado apresenta dependência espacial a distâncias muito pequenas, porém na amostragem as amostras foram coletadas a distâncias maiores de tal modo que não permitem que a componente estruturada de pequenas distâncias seja reconhecida, esta componente se refletirá como efeito pepita.

A variância espacial corresponde a porção estruturada do variograma, é o valor de variância espacial que deve ser crescente com a distância. A variância espacial adicionada ao efeito pepita, quando existir, resultará no patamar que é o valor máximo de variância espacial apresentado pelos dados. Vieira e Lombardi Neto (1995) afirmam que a garantia de estacionariedade de segunda ordem é verificada com a existência do patamar.

Por fim, a amplitude é a distância máxima até a qual as amostras apresentam dependência espacial entre si, ou seja, a amplitude é a distância que marca o início do patamar no variograma e o separa em campo estruturado e campo aleatório quando as distâncias são, respectivamente, menores que "a" e maiores que "a". Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a amplitude reflete o grau de homogeneidade do fenômeno espacial.

Após ajustar o modelo teórico de variograma ao variograma experimental, deve-se realizar a validação cruzada, com dois objetivos: o primeiro é aferir o ajuste realizado e, conseqüentemente, a qualidade do modelo interpretado e, o segundo, é definir os melhores parâmetros de vizinhança a serem utilizados na estimativa por krigagem. O procedimento de validação cruzada é realizado por meio da krigagem pontual onde um ponto amostral tem seu valor suprimido da base de dados, mantendo-se apenas a posição, em seguida esse ponto é estimado por krigagem e o valor amostrado é devolvido àquele local. Repete-se este processo até que todos os pontos da base de dados tenham sido visitados.

A estimativa por krigagem nada mais é do que a ponderação das amostras contidas na vizinhança do ponto que será estimado. Os ponderadores são função da variância espacial que o fenômeno espacial apresenta. O estimador da krigagem ordinária (KO) é obtido por:

$$Z_{KO}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

com

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Onde:  $Z_{KO}^*(x_0)$  é o ponto que será estimado,  $Z(x_i)$  são as “i” amostras no entorno de  $Z^*(x_0)$ , definidas na vizinhança e  $\lambda_i$  são os ponderadores associados a cada amostra. Os ponderadores são obtidos pela resolução do sistema de equações lineares  $AX = B$  que pode ser representado em notação matricial como:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{1,1} & \dots & \gamma_{1,n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n,1} & \dots & \gamma_{n,n} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{1,0} \\ \vdots \\ \gamma_{n,0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Onde:  $\gamma_{i,j}$  é a variância espacial entre as amostras selecionadas na vizinhança,  $\lambda_i$  são os ponderadores associados a cada amostra,  $\mu$  é o multiplicador de Lagrange e  $\gamma_{i,0}$  é a variância espacial das amostras em relação ao ponto que será estimado. Sempre com  $i = 1, \dots, n$ .

Além da krigagem ordinária, outra técnica útil às aplicações ambientais é a krigagem de variáveis indicadoras (KI). Os resultados desta técnica de estimativa não são os valores da variável, por exemplo a concentração de determinado composto no ambiente, mas sim a probabilidade de um ponto não amostrado estar acima ou abaixo de um dado limiar de concentração. A estimativa por KI pode fazer uso da KO, porém se diferencia desta em dois aspectos: primeiro quanto à natureza da variável e segundo quanto aos resultados obtidos. Enquanto a KO utiliza a medida da variável propriamente dita a KI usa a codificação booleana da variável transformando-a em 0 ou 1. A variável booleana recebe o nome de variável indicadora, pois ela indicará se dada condição foi satisfeita ou não, deste modo a variável indicadora pode ser escrita conforme definida por Journel (1983):



$$I_{\{Z(x) < x\}} = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(x) < x \\ 0 & \text{se } Z(x) \geq x \end{cases}$$

ou pode ser definida como:

$$I_{\{Z(x) > x\}} = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(x) > x \\ 0 & \text{se } Z(x) \leq x \end{cases}$$

A diferença entre as duas definições é o modo como a condição é formulada, porém no caso do exemplo citado a segunda definição é mais adequada.

Quanto aos resultados, como já comentado, na KI o que se obtém é a probabilidade de ocorrência da condição estabelecida e, no caso da segunda codificação apresentada, a probabilidade obtida será a de um ponto qualquer do domínio ser maior do que o limite definido.

## 8.1. Estudos de Casos

### 8.1.1. Reamostragem de MDE

A reamostragem do modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), de 90 metros de resolução espacial para 30 metros de resolução é um exemplo da aplicação da geoestatística na interpolação de dados ambientais obtidos por sensoriamento remoto. Esta reamostragem consiste na modelagem de semivariogramas, utilizando três modelos teóricos de variograma: esférico, exponencial e gaussiano. Os parâmetros para a realização da krigagem são extraídos com base na escolha dos melhores semivariogramas, isto é, aqueles que melhor se ajustaram aos variogramas experimentais.

Na escolha de mais de um semivariograma, aplica-se a média simples para a obtenção do efeito pepita, patamar e alcance que melhor represente a área reamostrada.

Através da seleção de amostras sistemáticas e aleatórias, definidas numa grade regular de 10 km na malha UTM, as amostras de 30 x 30 *pixels*, são obtidas no canto superior esquerdo de cada célula dessa grade, conforme apresentado na Figura 8.4.

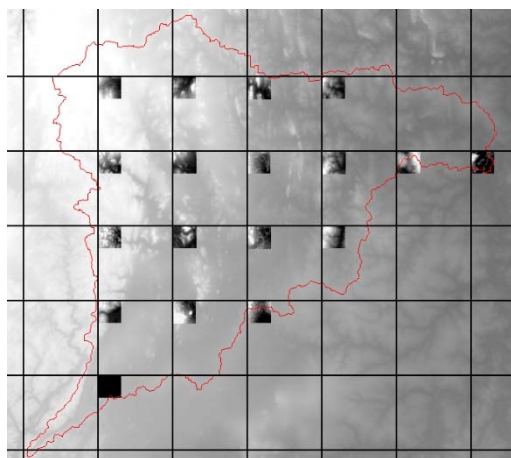


Figura 8.4. Amostragem das 18 células de 30 x 30 *pixels* sobre a Bacia do Rio Formoso, em Bonito, Mato Grosso do Sul (TORRES, 2007).

A análise do semivariograma resultou em 18 semivariogramas respectivos às amostras coletadas (Figura 8.5), identificando os efeitos pepita (*nugget*), alcance (*range*) e patamar (*sill*) para cada amostra.

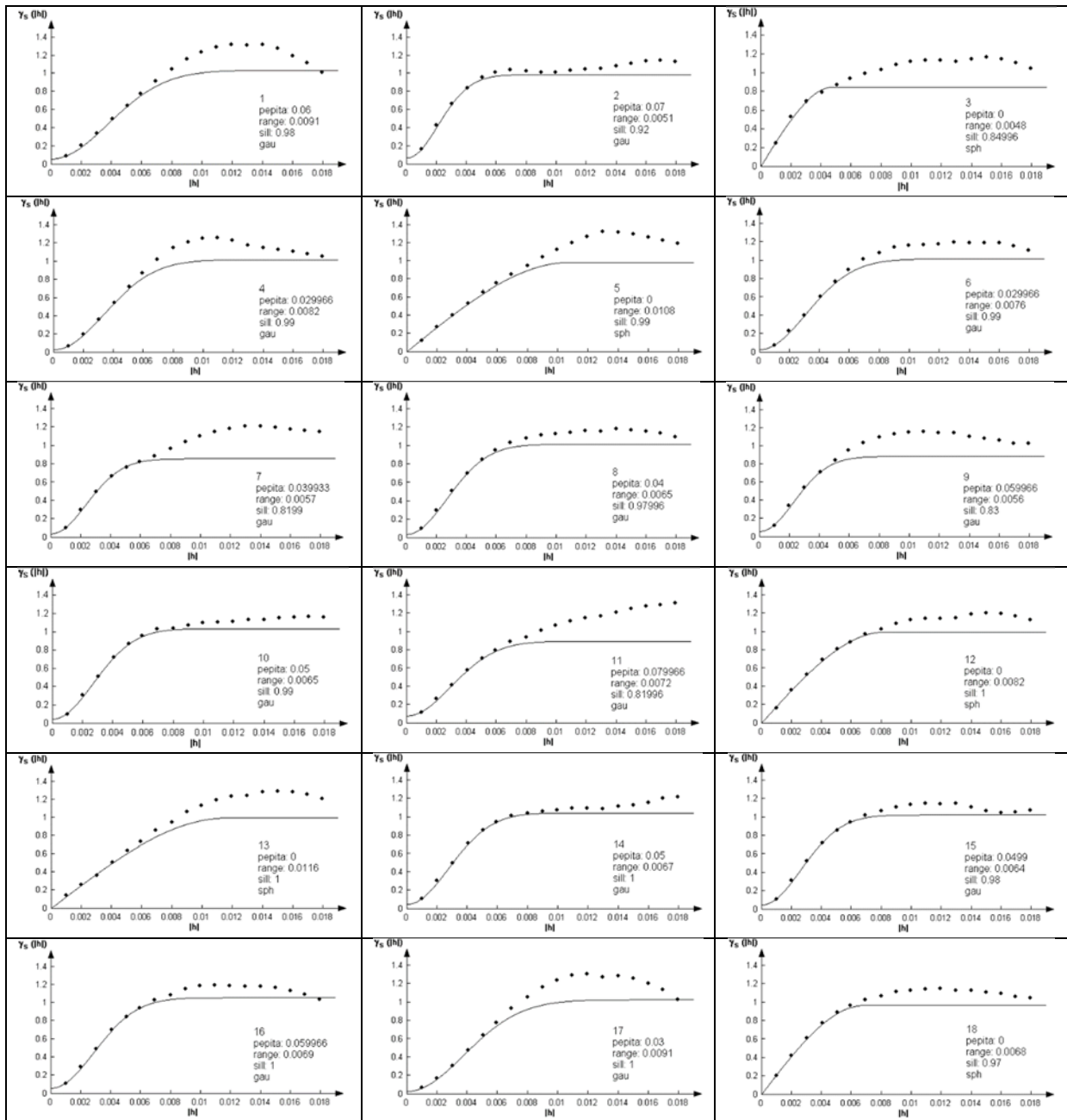


Figura 8.5. Resultados das análises dos semivariogramas para as 18 amostras coletadas na Bacia do Rio Formoso, em Bonito, Mato Grosso do Sul (TORRES, 2007).

Os resultados dos melhores semivariogramas da bacia do Rio Formoso foram:

- semivariograma 2: pepita 0,07; alcance 0,0051; patamar 0,92, modelo gaussiano;
- semivariograma 10: pepita 0,05; alcance 0,0065; patamar 0,99, modelo gaussiano;
- semivariograma 14: pepita 0,05; alcance 0,0067; patamar 1, modelo gaussiano;
- semivariograma 15: pepita 0,0499; alcance 0,0064; patamar 0,98, modelo gaussiano.

Para utilizar os dados dos melhores semivariogramas é realizada a média de cada um dos valores, conforme pode-se observar no exemplo, onde o efeito pepita será de 0,054975, o alcance 0,006175 e o patamar 0,9725. Por fim, com os parâmetros calculados realiza-se a krigagem com o modelo teórico de variograma médio da área da Bacia do Rio Formoso.

**8.1.2. Estimativa de pluma de contaminação por krigagem de variáveis indicadoras**

Para realizar a KI deve-se inicialmente definir a condição e codificar a variável de interesse em uma variável indicadora, Tome-se como exemplo concentrações de NO<sub>3</sub> em água subterrânea que possuem valor máximo permitido, para ser considerada potável deve ser no máximo igual a 10 mg/L. Desta forma, áreas cujas concentrações de NO<sub>3</sub> são superiores a esse limiar são consideradas contaminadas para o consumo humano. A categorização da variável será:

$$I_{Z(x_i) > 10 \text{ mg/L}} = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(x_i) > 10 \text{ mg/L} \\ 0 & \text{se } Z(x_i) \leq 10 \text{ mg/L} \end{cases}$$

Ilustra-se na Tabela 8.1 esta transformação e na Figura 8.6 o mapa de localização dos poços analisados para NO<sub>3</sub> que serão utilizados neste exemplo. Definida a nova variável, o procedimento para a estimativa segue a mesma sequência que para a KO, ou seja, calcula-se o variograma experimental, ajusta-se o modelo teórico de variograma, definem-se os parâmetros de vizinhança e, por fim, estima-se a malha regular por krigagem.

Tabela 8.1. Exemplo de codificação da variável NO<sub>3</sub> ser maior do que 10 mg/L

X (m)	Y (m)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	I <sub>NO3&gt;10 mg/L</sub>
5368.8	77617.8	16.51	1
5372.3	77617.2	17.05	1
5368.6	77606.3	7.11	0
5368.1	77607.6	1.6	0

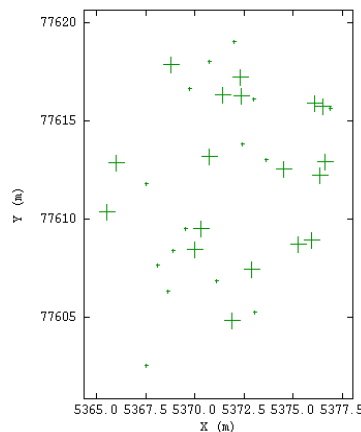


Figura 8.6. Mapa de localização dos poços analisados para NO<sub>3</sub>. O tamanho dos pontos reflete se a amostra está acima (+ maior) ou abaixo (+ menor) do limiar de 10 mg/L.

A Figura 8.7 é o histograma da variável indicadora, pode-se observar que aproximadamente 55% das amostras satisfazem a condição definida. O variograma experimental e o respectivo modelo teórico de variograma ajustado são apresentados na Figura 8.8 onde os “x” são os valores de variância espacial obtidos para cada passo do variograma experimental e a linha cheia contínua é o modelo ajustado. Optou-se pelo ajuste do modelo esférico com patamar igual a 0,25 e amplitude igual a 1,6 m. Os resultados da estimativa por KI podem ser observados no mapa da Figura 9, onde as cores quentes indicam baixa probabilidade de contaminação e as cores frias alta probabilidade. Pela interpretação do mapa da Figura 8.9 vê-se existem duas plumas, uma a ENE com maior área e outra a N espalhada por uma área menor.

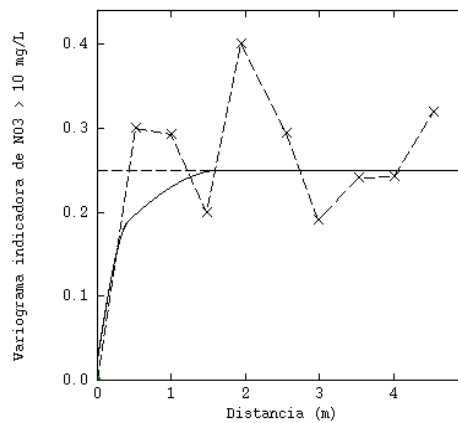
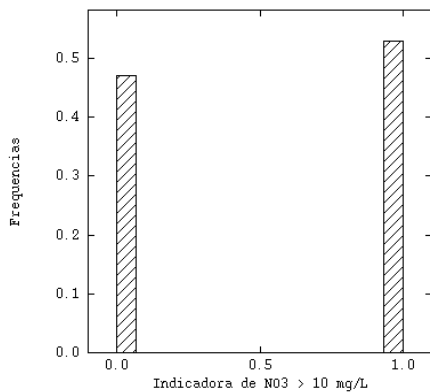


Figura 8.7. Histograma da variável indicadora de NO<sub>3</sub> ser maior do que 10 mg/L

Figura 8.8. Variograma experimental e respectivo modelo teórico ajustado.

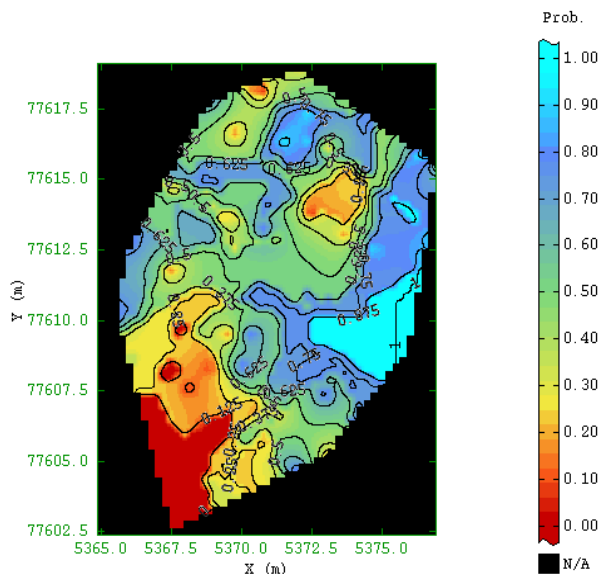


Figura 8.9. Mapa de probabilidades do teor de NO<sub>3</sub> ser maior do que o limiar de 10 mg/L.

## 8.2. Referências

- ARMSTRONG, M. **Basic Linear Geostatistics**. Berlin: Springer Verlag, 1998. 153 p.
- CHILÈS, J.; DELFINER, P. **Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty**. USA: John Wiley & Sons, 1999. 695 p.
- DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. USA: Oxford University Press, 1992. 340 p.
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- JOURNEL, A. G. Nonparametric Estimation of Spatial Distributions. **Journal of The International Association for Mathematical Geology**, v. 15, n. 3, p. 445-468, 1983.
- MATHERON, G. Principles of Geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.
- ROCHA, M. M. **Estudo Comparativo entre os Métodos Computacionais de Avaliação de Reservas e Controle de Teores da Mina de Capanema, Santa Bárbara, MG**. 1999. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- TORRES, T. G. **Extração de divisores de bacias hidrográficas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2007.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI Neto, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995. DOI: 10.1590/S0006-87051995000200019
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geostatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.



## GNSS/GPS

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Camila Leonardo Miotto<sup>2</sup>, José Renato Silva de Oliveira<sup>3</sup>, Heitor Martins<sup>4</sup>, José Marcato Junior<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, <sup>4</sup>Distribuidor da Santiago & Cintra Geotecnologias em Mato Grosso do Sul, <sup>5</sup>Doutor em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems* – Sistemas Globais de Navegação por Satélite) possibilitam a obtenção de dados espaciais. O GNSS é um termo mais amplo e engloba o GPS (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global). Esses equipamentos fornecem a posição geográfica do usuário sobre o globo terrestre, em diferentes níveis de precisão. Atualmente, a utilização desses equipamentos pela sociedade aumentou consideravelmente, já que os mesmos apresentam facilidade de acesso, fato que influenciou o rápido desenvolvimento dos sistemas de navegação por satélite, incentivando diversos países a criarem seus próprios sistemas de navegação.

O sistema GPS foi desenvolvido pelos Estados Unidos a partir de 1973, preliminarmente com propósitos militares, a partir do sistema NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time and Ranging - Global Positioning System*). O sistema é formado por uma constelação de satélites em órbitas conhecidas e tem evoluído ao longo do tempo, culminando na substituição dos satélites mais antigos por sistemas mais novos e precisos (IBGE, 1993; LOCH e CORDINI, 2000; LILLESAND et al., 2004; MONICO, 2008).

Lillesand et al. (2004) explicam que, de um modo simplificado, um receptor GNSS localiza a posição de um ponto medindo o tempo que o sinal emitido por um satélite leva para alcançar um receptor no solo. Sabendo-se que a velocidade do sinal é a mesma da luz ( $3 \times 10^8$  m/s), a distância entre o satélite e o receptor pode ser calculada. Outra alternativa para cálculo da distância entre o satélite e o receptor é por meio da fase da onda portadora (MONICO, 2008). A Figura 9.1a mostra que a partir da distância de um satélite ao receptor, pode-se gerar uma esfera, com o centro no satélite e com raio igual à distância calculada, faltando informações para um correto posicionamento. Ao se obter a distância de dois satélites (Figura 9.1b) o receptor estará no círculo formado pela interseção das duas esferas. Utilizando-se o sinal de três satélites a posição possível se estreita para dois pontos (A e B, Figura 9.1c). Os autores explicam ainda que destes dois pontos, normalmente um possui uma posição improvável (fora da superfície terrestre, ou muito deslocado, por exemplo). Por fim, em função da não sincronização entre os relógios dos satélites e do receptor, necessita-se de no mínimo, quatro satélites. No entanto, em geral, esse número é bastante superior.

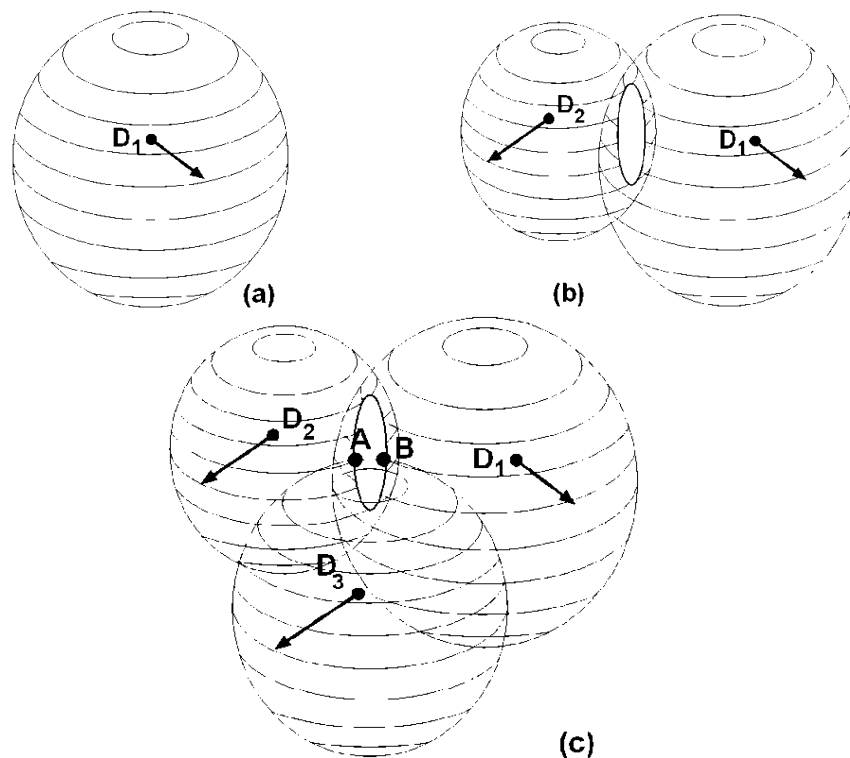


Figura 9.1. A partir do sinal de um satélite, existe uma esfera que representa as possíveis posições da estação GPS receptora. Tendo-se dois satélites a posição do receptor está no círculo formado pela interseção das duas esferas referentes aos dois sinais. Tendo-se três sinais, existem duas posições para o receptor, porém uma delas é improvável. O número mínimo para o posicionamento do receptor é dado por quatro satélites (LILLESAND et al., 2004).

É importante lembrar que as medições feitas por receptores GNSS estão sujeitas a uma grande variedade de fontes de erro, como: problemas nas órbitas dos satélites (erro de efemérides); condições atmosféricas (além de interferência da ionosfera e da troposfera, a velocidade do sinal depende da hora do dia, estação do ano e ângulo através da atmosfera); erros do receptor (problemas na antena, ruídos, causados por interferência de campos elétricos, por exemplo); erros nos relógios dos satélites ou dos receptores; reflexão e retransmissão de sinais em obstáculos entre o receptor e os satélites (erro multicaminho) (LOCH e CORDINI, 2000; LILLESAND et al., 2004).

Estes erros podem ser minimizados utilizando-se técnicas de posicionamento relativo ou RTK (*Real Time Kinematic*), as quais são discutidas na seção 10.4. Para diminuir a interferência de edifícios, árvores, céu nublado, túneis também podem ser utilizadas tecnologias denominadas A-GPS, as quais associam o aparelho GPS a uma rede de telefonia móvel (ver item 9.5).

Os satélites da constelação norte-americana NAVSTAR-GPS estão dispostos de tal modo a sempre haver ao menos quatro satélites, com inclinação de  $15^\circ$  acima do horizonte, de maneira a se ter uma cobertura global (IBGE, 1993; LOCH e CORDINI, 2000). As coordenadas (X, Y e Z) geradas pelo GPS são referenciadas ao sistema de coordenadas cartesianas geocêntricas. Essas coordenadas podem ser convertidas em latitude e longitude e também em coordenadas de projeção, a partir da configuração no aparelho pelo usuário. O referencial do

GPS é o WGS 84. Maiores detalhes acerca desses sistemas de coordenadas são apresentados no capítulo 5.

A popularização dessa tecnologia modificou os sistemas de navegação ao longo do tempo, levando a atualização dos mesmos por sistemas mais novos e precisos e conduzindo os fabricantes a produzirem equipamentos que integrem dados de localização de vários sistemas de navegação por satélite). Embora popularmente sejam denominados receptores GPS, o mais correto seria GNSS. GPS mesmo significa o sistema de posicionamento norte-americano. Outros sistemas também estão operando, como o GLONASS, da Rússia; o GALILEO, da Comunidade Europeia; o COMPASS/BeiDou, da China e; o IRNSS, da Índia.

## 9.1 Sinais

Nos sistemas de posicionamento por satélite, a localização do receptor móvel é estimada com base nos sinais transmitidos pelos satélites do sistema, os quais são gerados a partir da frequência 10,23 MHz e modulados sobre portadoras para que possam ser enviados pelos satélites, utilizando o sistema de transmissão CDMA (*Code Division Multiple Access*), no qual se utiliza uma frequência para cada portadora (LAGO et al., 2002; ROQUE et al., 2006). Cada sistema de navegação conta com sinais próprios, que diferem entre si.

Inicialmente, o sistema NAVSTAR-GPS transmitia apenas duas ondas portadoras: L1 e L2. Os códigos que formam o PRN (*Pseudo-Random-Noise* – ruído falsamente aleatório) são modulados sobre essas duas portadoras, permitindo realizar medidas de distâncias, a partir da medida do tempo de propagação da modulação (LEICK, 1995 apud MONICO, 2000). Desse modo, têm-se os códigos C/A e P.

O código C/A (*Coarse Acquisition* – sem restrições) é modulado somente sobre a onda portadora L1. Por não ser criptografado, está disponível para os usuários civis, embora apresente baixa precisão. O código P (*Precise* ou *Protected* – preciso ou protegido) é restrito para usuários militares e civis autorizados, sendo mais preciso que o código C/A e modulado sobre as portadoras L1 e L2. Quando da possibilidade de fraudes contra o código P, o mesmo é criptografado, passando a operar no modo AS (*Anti-Spoofing*) e a ser denominado de código Y, o qual não está disponível para usuários civis (MONICO, 2008).

Com a modernização do sistema GPS foram adicionados um novo código civil, denominado L2C, adicionado à portadora L2 já existente, com o objetivo de reduzir os problemas advindos do código Y; e uma nova portadora, denominada L5, protegida mundialmente e destinada para o uso em radionavegação aeronáutica (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009). Há também a criação de um quarto sinal civil, o L1C (GPS, 2020a).

Inicialmente, o sistema russo GLONASS transmitia seus sinais apenas nas bandas L1 (modulada pelos códigos P, para usuários autorizados, e C/A, usuários civis) e L2 (modulada apenas pelo código P), através do sistema de transmissão FDMA (*Frequency Division Multiple Access* – múltiplo acesso pela divisão da frequência). Com o objetivo de modernizar seu sistema, foi lançado em fevereiro de 2011 o satélite GLONASS-K, o qual transmite o sinal CDMA na banda L3, sinal utilizado por todos os sistemas GNSS (LAGO et al., 2002; URLICHICH et al., 2011).

Os sinais de navegação do sistema europeu GALILEO são transmitidos em três bandas de frequência (E5, E6 e L1) através das portadoras E5A, E5B, E6 e E1 (ESA, 2020a; MONICO,

2008). Os sinais do sistema japonês QZSS (*Quase-Zenith Satellite System*) são transmitidos através de frequências da portadora L (L1C/A, L1C, L1S, L1Sb, L2C, L5, L5S, L6) e da banda S (*S-band*) (QZSS, 2020a).

## 9.2. Tipos de Receptores

Os receptores dos sistemas de navegação coletam os dados enviados pelos satélites, os quais são usados nos cálculos de coordenadas, deslocamento e velocidade, através de processamento em tempo real ou pós-processamento. Suas características estão relacionadas ao tipo de antena, ao número de portadoras, ao código, à capacidade de memória para armazenamento de dados, à interface com o usuário e ao tempo de operação. Atualmente existem diversos modelos e fabricantes de receptores, desde os portáteis até os mais sofisticados computadores de bordo para aviões, navios, automóveis e colheitadeiras (ALBUQUERQUE e SANTOS, 2003).

A classificação dos receptores GPS é realizada levando-se em consideração alguns critérios, como a comunidade usuária (receptor de uso militar e receptor de uso civil), o tipo de aplicação (receptor de navegação, receptor geodésico, receptor para SIG – Sistema de Informações Geográficas, receptor de aquisição de tempo, entre outros), e ainda a classificação baseando-se no tipo de dados proporcionados pelo receptor (código C/A; código C/A e portadora L1; código C/A e portadoras L1 e L2; portadora L1; portadoras L1 e L2) (MONICO, 2008).

Para fins de navegação marítima, aérea ou terrestre, os receptores utilizados baseiam-se nos códigos C/A. Apesar de possuírem menor acurácia de posicionamento, apresentam vantagens como baixo preço de aquisição e inúmeras aplicações. Existe uma infinidade de modelos, tanto aqueles que integram diversos equipamentos, como computadores de mão, celulares, relógios, etc., como aqueles dedicados exclusivamente ao posicionamento GPS, onde também são encontradas aplicações para uso do dado de posicionamento em outros equipamentos como notebooks, rastreadores de veículos, etc. (MORGADO, 2009).

Os receptores L1 apresentam precisão na ordem do centímetro ao aplicar o método de posicionamento relativo. Já os receptores L1 e L2, por utilizarem o sinal de duas portadoras, são os mais precisos, e conforme o tempo de rastreamento podem chegar a precisões da ordem do milímetro. Os receptores das portadoras L1 e L2 mais o código C/A são utilizados nos trabalhos geodésicos de precisão. Receptores L1 e L2 mais os códigos C/A e P são utilizados somente por usuários autorizados e possibilitam a determinação coordenadas precisas, sendo utilizados em trabalhos geodésicos de alta precisão (ROQUE et al., 2006).

### 9.3. Sistemas de Posicionamento por Satélites – Exemplos

Esse sistema consiste em uma constelação de satélites que transmite um sinal, fornecendo a posição exata, velocidade e informação de tempo, e que pode ser acessado por qualquer pessoa que possua um receptor. Um receptor GNSS integra vários sistemas de posicionamento por satélites já existentes, ou seja, quando um receptor é dito GNSS é porque o mesmo é capaz de receber sinais de mais de um sistema de posicionamento, como o GALILEO, GPS e GLONASS.

Dentre os principais sistemas de posicionamento que compõem o GNSS tem-se o NAVSTAR-GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS/BeiDou e IRNSS.

O NAVSTAR-GPS (Sistema de Posicionamento Global) foi desenvolvido pelos EUA a partir de 1973, inicialmente com propósitos militares. Foi elaborado com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas e funcional sob qualquer condição climática (GONÇALVES, 2011). Em sua constelação estão disponíveis satélites antigos e mais novos, incluindo o Bloco IIA (2ª geração), Bloco IIR, Bloco IIR-M, Bloco IIF, GPS III e GPS IIIF, sendo os quatro últimos os mais modernos. Do Bloco IIA, nenhum satélite está operacional; o Bloco IIR conta com 10 satélites operacionais; o Bloco IIR-M conta com 7 satélites operacionais; o Bloco IIF possui 12 satélites operacionais e os Blocos GPS III/IIIF conta com 2 satélites operacionais, sendo assim, em 2020, o sistema conta com 31 satélites operacionais (GPS, 2020b).

O sistema GLONASS foi desenvolvido em 1970 pela antiga URSS para uso militar e está passando atualmente por uma fase de renovação com o desenvolvimento de satélites GLONASS-K, a terceira geração de satélites, que irão substituir os dispositivos GLONASS-M, emitindo um maior número de sinais de navegação, já que o GLONASS-M emite cinco sinais e os mais novos, GLONASS-K e GLONASS-K2, emitem 7 e 9 sinais, respectivamente. Em 2019, o sistema contava com 27 dispositivos, sendo 25 satélites GLONASS-M e dois satélites GLONASS-K. Espera-se que sejam fabricados 27 satélites para a constelação até 2025 (SPUTNIK BRASIL, 2019; ZAK, 2020).

O sistema GALILEO é uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia e da Agência Espacial Europeia, que será gerenciado pela comunidade civil, diferentemente dos sistemas GPS e GLONASS. Sua constelação consistirá em 24 satélites operacionais, mais 6 peças em órbitas, sendo o lançamento dos satélites operacionais iniciados em 2011 e seus primeiros serviços disponibilizados a partir de 15 de dezembro de 2016 (ESA, 2020b). Em 2019, o sistema contava com 22 satélites em órbita, dois em testes e 12 ainda serão lançados, sendo a previsão de funcionamento total para o ano de 2020 (ROMILDO, 2018; YUGE, 2019; EGSA, 2020a). Estando totalmente operacional, esse sistema ofertará serviços de alto desempenho para todo o mundo, dentre eles tem-se o Serviço Aberto (OS), o qual é aberto e gratuito, sendo utilizado para fins de posicionamento e cronometragem; o Serviço Público Regulado (PRS), restrito a usuários autorizados pelo governo; o Serviço de Busca e Resgate (SAR), o qual é um sistema internacional de detecção de alertas e busca por socorro baseado em satélite (EGSA, 2020b).

O Sistema de Posicionamento Regional por Satélites da China – COMPASS/BeiDou – teve seu desenvolvimento iniciado em 2000 e foi concebido para fornecer serviços de posicionamento e de navegação em tempo integral, objetivando também o aumento da geração de informações em comunicação, prevenção de incêndios florestais, mitigação de desastres, levantamento e mapeamento de informações geográficas, entre outros (BEIDOU, 2020a). O



programa está passando por uma fase de modernização e contará com 35 satélites, pretendendo fornecer serviço global até o ano de 2020 (BARBOSA, 2018; BEIDOU, 2020b; EOPORTAL DIRECTORY, 2020).

O IRNSS (Sistema Regional Indiano de Navegação por Satélite) está sendo desenvolvido pela Organização de Pesquisa Espacial da Índia (ISRO) e desempenhará funções civis e militares. No ano de 2016, o sistema passou a ser chamado de NAVIC (*Navigation Indian Constellation*). Este sistema conta com um total de 9 satélites, dentre os quais 8 já estão em órbita geoestacionária e o restante em órbita geossíncrona (GPS INDIA, 2020; ISRO, 2020).

O sistema de posicionamento regional desenvolvido pelos japoneses é chamado de QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) e pode ser usado em todos os locais, sendo compatíveis com os satélites do sistema GPS. Em novembro de 2018, a constelação era de quatro satélites, sendo que para 2024 a previsão é de 7 satélites (QZSS, 2020b).

## 9.4. Técnicas de Posicionamento GNSS

O posicionamento geodésico pode ser realizado no modo por ponto (absoluto) ou relativo. No primeiro caso, a posição do ponto é determinada num sistema de referência definido, que no caso do GPS é o WGS-84. No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação a do outro, cujas coordenadas devem ser conhecidas. As coordenadas do ponto conhecido devem estar referenciadas ao WGS-84, ou num sistema compatível, caso se efetue o posicionamento usando o GPS. Neste caso, os elementos que compõem a linha base, ou seja, DX, DY e DZ, são determinados e, ao serem acrescentados as coordenadas do ponto base, proporcionam as coordenadas do ponto desejado. Pode-se ainda acrescentar que tanto no posicionamento por ponto, quanto no relativo, o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, dando origem as denominações de posicionamento estático e cinemático.

### 9.4.1. Posicionamento Relativo

Há alguns anos a utilização do GPS tornou-se uma atividade muito comum, sendo aplicado nas mais diversas áreas, entretanto os receptores GPS disponíveis para os usuários civis previamente não apresentavam elevada precisão. Com o objetivo de atender as aplicações que necessitem obter instantaneamente e com acurácia coordenadas de pontos de interesse foram desenvolvidas técnicas, como o posicionamento relativo, o DGPS (*Differential GPS*), o RTK (*Real Time Kinematic*), entre outros. Com a utilização destas técnicas, pode-se aumentar a precisão do posicionamento até números centimétricos, dependendo da qualidade do receptor e do sinal de correção utilizados, ampliando a possibilidade de utilização do GPS nas mais diversas atividades.

O princípio básico dessas técnicas consiste em dispor um receptor num local fixo de coordenadas conhecidas, enquanto o outro aparelho se movimenta para fazer o levantamento desejado. Os erros de posicionamento lidos sobre a estação fixa são utilizados para refinar os dados de posicionamento da estação móvel. Assim, a comparação do valor verdadeiro com aquele que foi medido fornece os valores de correção que devem ser aplicados a cada distância

provinda de cada satélite GPS. Para o funcionamento desse sistema é necessário que os dois receptores utilizem o mesmo conjunto de satélites. Desse modo, a contribuição de cada satélite para o erro é semelhante em ambos os receptores (LILLESAND et al., 2004; BARONI, 2006).

A diferença entre as técnicas de posicionamento relativo, DGPS e RTK está relacionada ao tipo de variável observada. Enquanto o DGPS utiliza-se da pseudodistância, o RTK e posicionamento utiliza-se da fase da onda portadora, fato que melhora a qualidade dos resultados (MONICO, 2000, 2008). O DGPS e RTK, descritos a seguir, tem por diferencial a possibilidade de estimar coordenadas em tempo real.

#### **9.4.2. DGPS e RTK**

A técnica DGPS foi desenvolvida com o objetivo de minimizar os efeitos da disponibilidade seletiva (S/A), utilizando como observáveis as pseudodistâncias ou as pseudodistâncias filtradas pela portadora. Além disso, no DGPS os dados podem ser processados em tempo real ou após a coleta. Tem sido utilizado na navegação, em atividades de engenharia, na agricultura de precisão, etc (ALVEZ et al., 2012).

A técnica RTK fundamenta-se na transmissão das medições puras da fase portadora ou das correções diferenciais da fase portadora, ambas mensuradas na estação de referência. Desse modo, esta técnica pode alcançar acurácia centimétrica, sem que haja a necessidade de um pós-processamento dos dados. Sua limitação está relacionada ao aumento do comprimento da linha de base, fato que prejudica os resultados já que os erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites obtidos pelos usuários reduzem suas correlações (PRADO e KRUEGER, 2003; ALVES, 2008).

Segundo Ffoulkes-Jones e Consadier (1995) a única forma de se manter a acurácia posicional na técnica RTK, tanto para a utilização das medições puras da fase da portadora quanto para as correções diferenciais, é processar as medidas observadas simultaneamente. Resumidamente, um sistema RTK é composto por dois receptores com as respectivas antenas, link de comunicação via rádio e software apropriado para realizar o processamento e a validação dos dados (MONICO, 2000). A Figura 9.2 apresenta um modelo de sistema RTK.

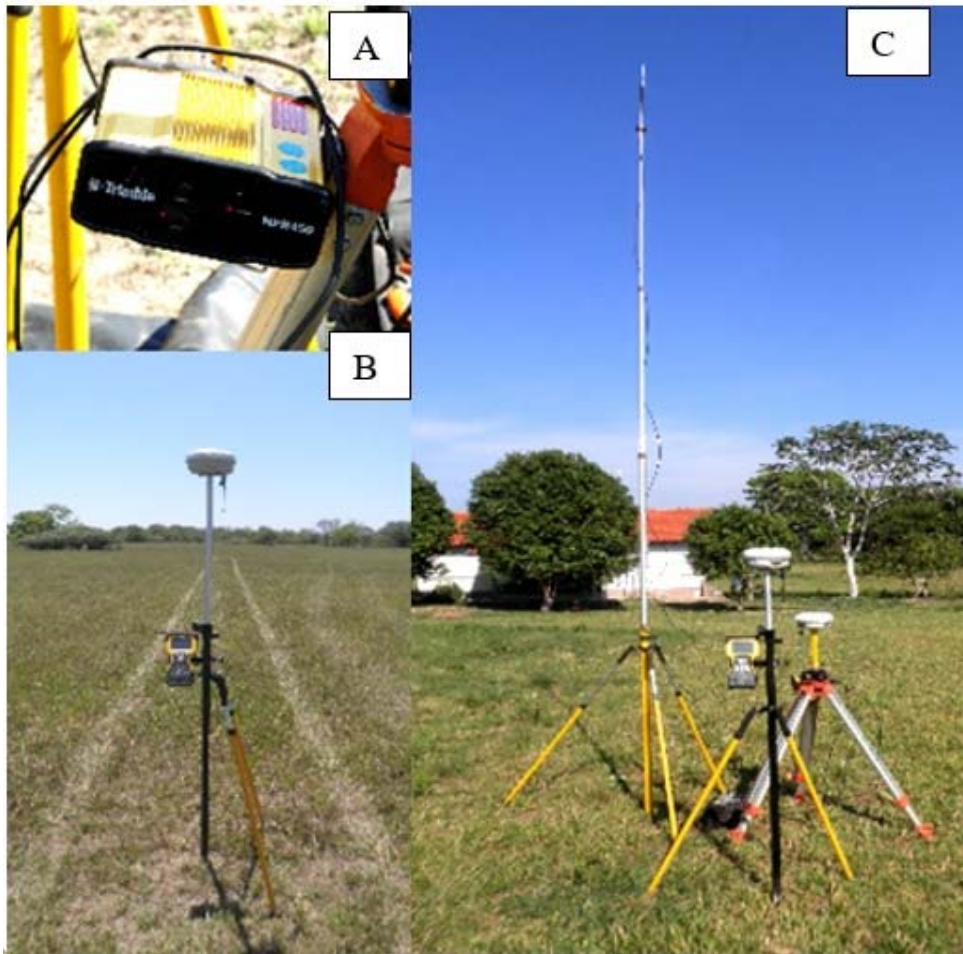


Figura 9.2. Sistema Trimble RTK R6. a) Rádio utilizado na amplificação do sinal que fornece a correção em tempo real para o Rover. b) Aparelho Rover com a coletora de dados TSC2, ambiente *Windows Mobile*. c) Base fixada sobre um marco com coordenadas conhecidas e antena com altura de 5 m para aumento da conexão com a linha de base.

### 9.4.3. Levantamento Topográfico com ARP

Os levantamentos topográficos tradicionais possuem uma grande limitação quando se trata da coleta de pontos em locais de difícil acesso. É o caso de áreas com vegetação densa, rios, lagos dentre outros. Nesse sentido a popularização das aeronaves remotamente pilotadas tem ajudado a resolver essa questão. Atualmente é possível determinar uma coordenada com acurácia centimétrica tendo como base um ortomosaico gerado por drones. A correção deste ortomosaico pode ser feita aplicando dois métodos de posicionamento que tem sido os mais utilizados na Topografia com ARP. O primeiro deles é o posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*), ou cinemático em tempo real e o segundo é o método PPK (*Post-processed Kinematic*), ou cinemático pós-processado (Figura 9.3). Note que em ambos os métodos é necessário que o usuário possua uma estação GNSS base, fixada em um ponto com coordenadas conhecidas, ou que este ponto tenha suas coordenadas corrigidas posteriormente, utilizando serviços como o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), fornecido pelo IBGE.

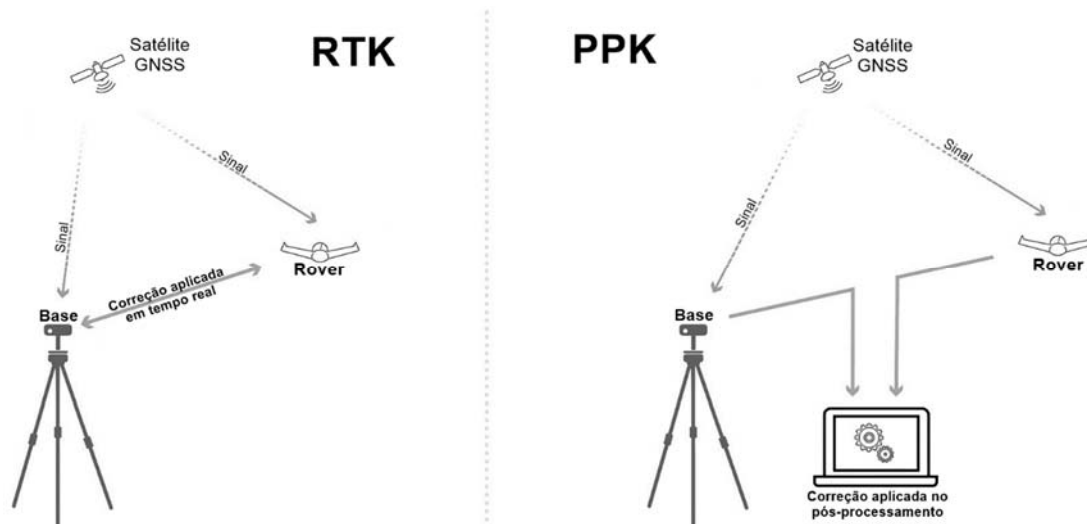


Figura 9.3. Métodos de levantamento topográfico com ARP. Em ambos os casos um receptor GNSS é embarcado na aeronave, transformando-a em um *rover*. A captura da foto e coordenada é feita de modo simultâneo.

Vantagens e desvantagens são observadas nos dois métodos citados. No caso do RTK a correção é feita em tempo real, o que é uma vantagem. Porém a acurácia do levantamento estará diretamente ligada a qualidade da comunicação entre a base e o *rover*. Se houver alguma falha nessa comunicação, causada por algum obstáculo na linha de voo a utilização deste método fica comprometida. No método PPK os dados GNSS brutos da base e *rover* são armazenados para posterior processamento. Isto reduz o custo da aplicação uma vez que não há necessidade de link de rádio para envio das correções. Isso possibilita também, o mapeamento de áreas mais amplas. Aplicando-se essas técnicas de posicionamento reduz-se a necessidade de pontos de controle.

## 9.5. Assisted-GPS (A-GPS)

Alguns obstáculos, como árvores, edifícios, céu nublado, entre outros, podem dificultar a recepção dos sinais de satélites pelo dispositivo GPS, interferindo e alterando o resultado da localização. Por esse motivo, as indústrias associam o GPS a outras tecnologias, denominadas *Assisted-GPS (A-GPS)*.

O GPS comum localiza-se utilizando somente o sinal dos satélites, já o A-GPS utiliza esses mesmos satélites em conjunto com uma rede de telefonia móvel. A ideia básica deste sistema é possibilitar a coleta de informações de posição disponibilizadas pelo GPS de maneira mais rápida e precisa para o sistema de comunicações (GUIMARÃES e GRIVET, 2003). As principais vantagens deste sistema em relação ao sistema GPS original é que através dele há a redução do tempo de aquisição dos sinais, a melhoria da sensibilidade do sensor GPS (embutido no terminal) e a redução do consumo de energia. Recursos A-GPS já estão sendo empregados em aparelhos celulares, tanto no Android como no *iPhone*.

## 9.6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos das Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 9.7. Referências

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C. dos. GPS para iniciantes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO*, 11., 2003, Belo Horizonte, MG. **Minicurso**. Belo Horizonte: INPE, 2003. 46 p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.02.09.16/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento baseado em redes de estações de referência GPS utilizando o conceito de estação virtual**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, 2008. Disponível em: [http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/t\\_alves\\_dbm.pdf](http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/t_alves_dbm.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.

ALVEZ, D. B. M.; DALBELO, L. F. A.; MONICO, J. F. G.; SHIMABUKURO, M. H. First brazilian real time network DGPS through the internet: development, application and availability analyses. **Journal of Geodetic Science**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2012.

BARBOSA, R. C. **China lança dois novos satélites BeiDou**. Em *Órbita – Astronáutica e Conquista do Espaço*. 2018. Disponível em: <https://www.orbita.zenite.nu/china-lanca-dois-novos-satelites-beidou/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BARONI, L. **Análise de algoritmos de navegação para um sistema GPS diferencial em tempo real**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Mecânica Espacial e Controle) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/09.21.09.01/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BEIDOU. BeiDou Navigation Satellite System. **System**. 2020a. Disponível em: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BEIDOU. BeiDou Navigation Satellite System. **China successfully launched the 54th BDS satellite**. 2020b. Disponível em:



[http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/202004/t20200401\\_20279.html](http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/202004/t20200401_20279.html). Acesso em: 20 ago. 2020.

EGSA. European Global Navigation Satellite Systems Agency. **Constellation Information**. 2020a. Disponível em: <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>. Acesso em: 20 ago. 2020.

EGSA. European Global Navigation Satellite Systems Agency. **Services**. 2020b. Disponível em: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/services>. Acesso em: 20 ago. 2020.

EOPORTAL DIRECTORY. Sharing Earth Observation Resources. **CNSS (Compass/BeiDou Navigation Satellite System)**. 2020. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/cnss>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ESA. The European Space Agency. **Galileo navigation signals and frequencies**. 2020a. Disponível em: [https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo\\_navigation\\_signals\\_and\\_frequencies#:~:text=Galileo%20signals%20have%20codes&text=To%20allow%20the%20receivers%20to,is%20added%20to%20the%20signal](https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_navigation_signals_and_frequencies#:~:text=Galileo%20signals%20have%20codes&text=To%20allow%20the%20receivers%20to,is%20added%20to%20the%20signal). Acesso em: 20 ago. 2020.

ESA. The European Space Agency. **What is Galileo?** 2020b. Disponível em: [http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](http://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo). Acesso em: 20 ago. 2020.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **First of new generation of GPS satellites launched into orbit**. 2009. Disponível em: [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/waas/news/media/firstl5\\_gps\\_sv\\_le\\_040709.pdf](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/news/media/firstl5_gps_sv_le_040709.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.

FFOULKES-JONES, G.; CONSADIER, D. **Utilizing a Low Cost Receiver for Centimeter to Sub-meter Accuracy Real-Time and Post-Processed Applications**. *In*: ION GPS-95, 1995. p. 1499-1508.

GONÇALVES, L. F. S. **Desenvolvimento de sistema de navegação autônoma por GNSS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011-162537/pt-br.php>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GPS. Official U.S. Government Information About the Global Positioning System (GPS) and Related Topics. **New Civil Signals**. 2020. Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L1C>. Acesso em: 20 ago. 2020. (a).

GPS. Official U.S. Government Information About the Global Positioning System (GPS) and Related Topics. **Space Segment**. 2020. Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>. Acesso em: 20 ago. 2020. (b).

GPS INDIA. **Navigation Indian Constellation (NAVIC)**. 2020. Disponível em: <https://gpsindia.com/navic/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GUIMARÃES, A.; GRIVET, M. A. Radiolocalização de terminais de comunicações móveis. **Revista Científica Periódica – Telecomunicações**, v. 06, n. 01, p. 1-17, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS: versão preliminar**. Rio de Janeiro: IBGE. Resolução da Presidência do IBGE nº 5 de 31 de março de 1993. 1993. 18 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

- ISRO. Department of Space, Indian Space Research Organization. **Satellite Navigation**. 2020. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/spacecraft/satellite-navigation>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- LAGO, I. F. do; FERREIRA, L. D. D.; KRUEGER, C. P. GPS e GLONASS: aspectos teóricos e aplicações práticas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 8, n. 2, p. 37-53, 2002. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/1419>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 1995. 560 p.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.
- LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia Contemporânea: planimetria**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000. 321 p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS – Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476 p.
- MORGADO, P. J. Q. **Avaliação da precisão de posicionamento de equipamentos inerente à utilização de sistemas GPS de baixo custo, receptores utilizados para navegação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Municipal) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9954/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20final%20Paulo.PDF>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- PRADO, A. do; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 55, v. 01, p. 29-38, 2003. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43485>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- QZSS. Quasi-Senith Satellite System. **Trasmission Signals**. 2020. Disponível em: [https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv03\\_signals.html](https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv03_signals.html). Acesso em: 20 ago. 2020a.
- QZSS. Quasi-Senith Satellite System. **What is the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)?** 2020. Disponível em: [https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv02\\_why.html](https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv02_why.html). Acesso em: 20 ago. 2020b.
- ROMILDO, J. **Sistema europeu Galileo ajuda pesquisas espaciais**. Agência Brasil, Brasília. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-07/sistema-europeu-galileo-ajuda-pesquisas-espaciais-brasileiras>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- ROQUE, C. G.; OLIVEIRA, I. C. de; FIGUEIREDO, P. P.; BRUM, E. V. P.; CAMARGO, M. F. Georreferenciamento. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 4, n. 1, p. 87-102, 2006. Disponível em: [http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol4/10\\_artigo\\_v4\\_.pdf](http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol4/10_artigo_v4_.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.
- SPUTNIK BRASIL. **Rússia planeja renovar seu Sistema orbital Glonass em 2020**. 2019. Disponível em: [https://br.sputniknews.com/ciencia\\_tecnologia/2019110514736833-russia-planeja-renovar-seu-sistema-orbital-glonass-em-2020/](https://br.sputniknews.com/ciencia_tecnologia/2019110514736833-russia-planeja-renovar-seu-sistema-orbital-glonass-em-2020/). Acesso em: 20 ago. 2020
- URLICHICH, Y.; SUBBOTIN, V.; STUPAK, G.; DVORKIN, V.; POVALYAEV, A.; KARUTIN, S.; BAKITKO, R. **GLONASS modernization**. Russian Space Systems. 2011. Disponível em: <http://gpsworld.com/glonass-modernization-12232/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

YUGE, C. **Sistema de GPS europeu Galileo está for a do ar desde sexta-feira.** TecMundo. 2019. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/internet/143783-sistema-gps-europeu-galileo-fora-ar-sexta-feira.htm>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ZAK, A. **Deployment of the GLONASS constellation.** Russian Space Web. 2019. Disponível em: [http://www.russianspaceweb.com/glonass\\_deployment.html](http://www.russianspaceweb.com/glonass_deployment.html). Acesso em: 20 ago. 2020.

# SIG – Sistema de Informações Geográficas

Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Roberto Macedo Gamarra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutorado em Ecologia e Conservação pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

Para o ESRI - *Environmental Systems Research Institute* (ESRI, 1997) um SIG (sistema de informações geográficas) é um conjunto organizado de computador (*hardware*), programas (*software*), dados geográficos e pessoal, desenhado para, de forma eficiente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informações referenciadas geograficamente (Figura 10.1).

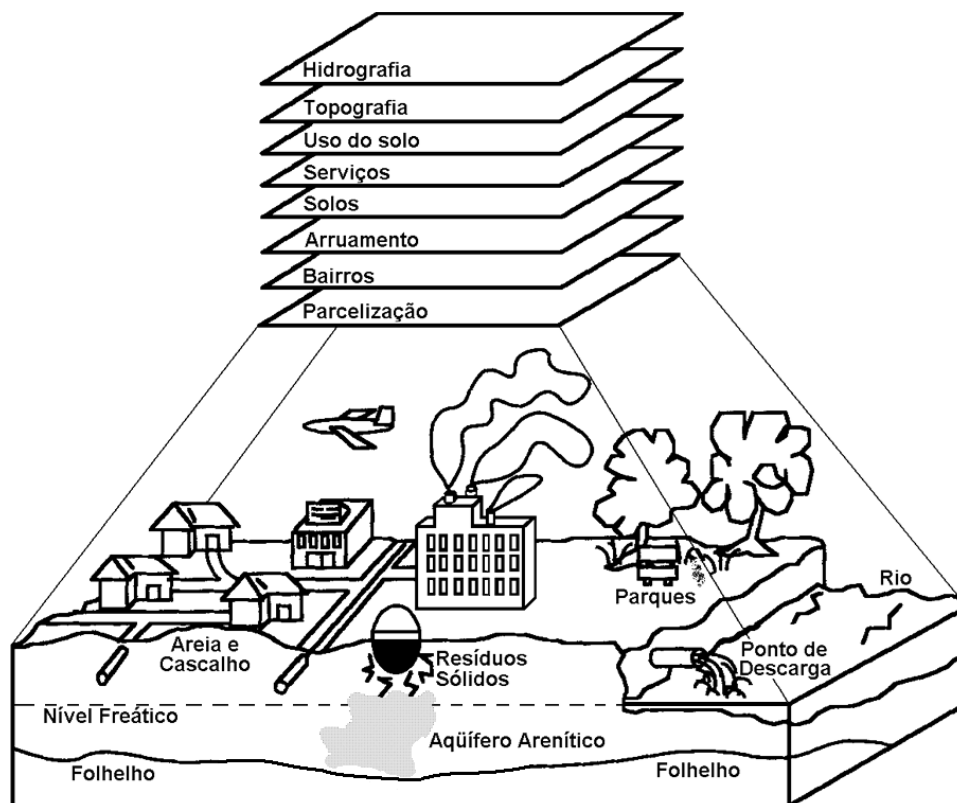


Figura 10.1. Um SIG é um sistema capaz de armazenar e utilizar dados descritivos sobre a superfície terrestre. Um conjunto de *layers* (camadas) pode representar diferentes feições geográficas do mundo real (ESRI, 1997).

O ambiente SIG é o ideal para integrar dados, informações e cartas de naturezas e escalas diferentes. Por exemplo, dados climáticos e cartas topográficas ou de solos podem ser

analisadas em conjunto, levando toda a informação para uma base comum, o que permite a sua integração e uso (PARANHOS FILHO et al., 2003).

Assim, o geoprocessamento permite que se calcule o valor da erosão laminar dos solos em uma determinada área. Ou ainda, integrando-se dados socioeconômicos e distribuição da população, pode-se analisar a inclusão e exclusão social.

É importante ainda ressaltar que, por definição, o uso de SIG envolve a utilização de *hardware* e *software*, enquanto geoprocessamento não envolve obrigatoriamente.

## 10.1 Análise Espacial

ESRI (1997) define análise espacial como o processo de extração ou criação de novas informações a partir de um conjunto de dados geográficos.

Uma das operações utilizadas em um SIG é a apresentação espacial de variáveis como teores, população, índices de qualidade ambiental, de vida e qualquer outro dado espacial. Assim, por exemplo, pode ser questionado ao sistema se a distribuição dos casos de uma doença forma algum padrão espacial, se existe ou não indicativos de associação com alguma fonte de origem, pontual ou difusa. A resposta pode ser obtida tanto na forma de tabelas e gráficos quanto na forma de mapas ou cartas temáticas. Portanto, um SIG facilita a análise de dados ambientais através de: visualização, localização, condição, predição, medição.

É importante salientar que não se deve ver tais operações como tarefas complicadas e que demandam muito tempo ou recursos. A literatura apresenta vários exemplos de aplicações bem sucedidas da análise espacial de dados ambientais.

O exemplo mais marcante do uso do mapeamento para a análise espacial de dados ambientais é o produzido por John Snow, no século XIX. Durante uma epidemia de cólera, colocou em um mapa o local de mais de 500 mortes pela doença e a posição dos poços de fornecimento de água em Londres. Este mapa mostrou que a maioria das mortes ocorreu próximo de um determinado poço (*Broad Street*, Figura 10.2), demonstrando o papel da contaminação da água na ocorrência de cólera (DRUCK et al., 2004). Sabendo-se a localização do poço contaminado, foi possível o seu fechamento, o que debelou o surto de cólera. O mapa elaborado pelo Doutor Snow, muito antes dos computadores, passou para a história como um dos primeiros exemplos que ilustra bem o poder explicativo da análise espacial.



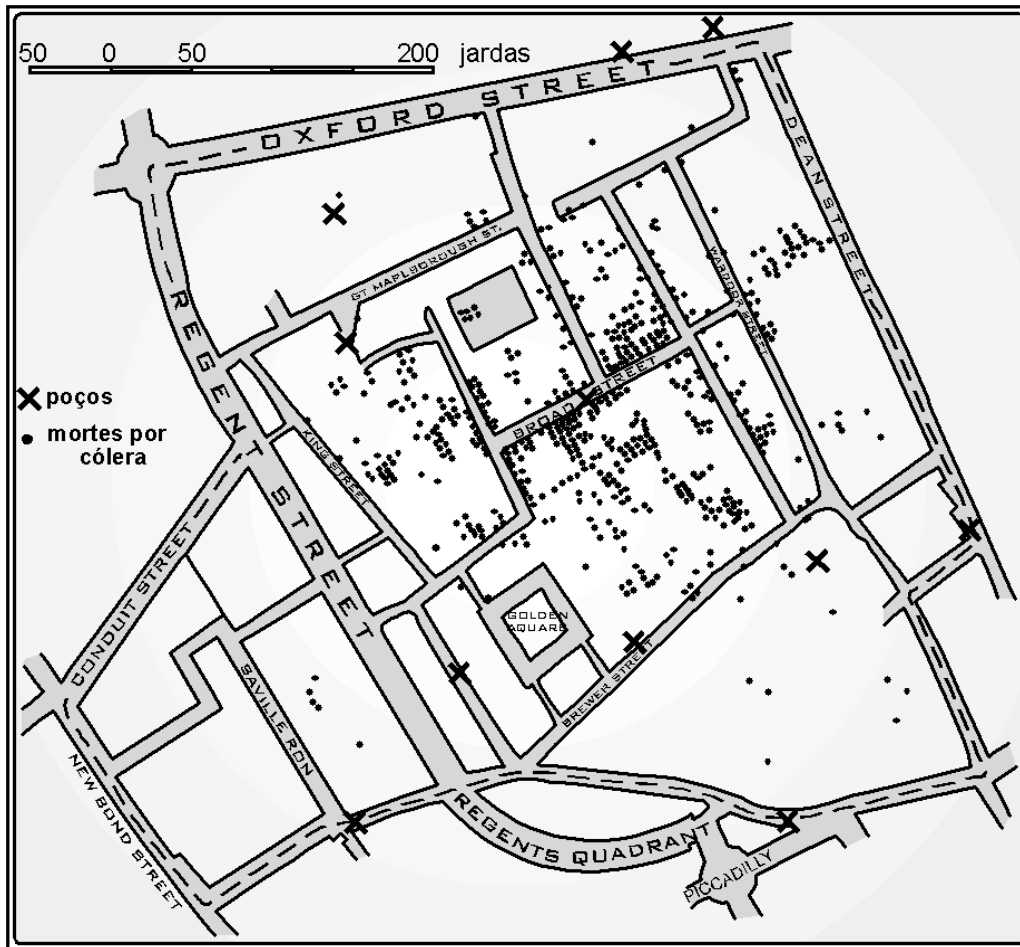


Figura 10.2. Exemplo de análise de dados espaciais. A carta elaborada pelo Dr. John Snow em 1854 (DRUCK et al., 2004), permitiu identificar a fonte de água contaminada pelo cólera. Deve-se observar a quantidade de mortes em torno da *Broad Street*, no centro do mapa.

### 10.1.1. Exemplo de Aplicação de Análise Espacial

Uma aplicação equivalente à do Dr. Snow foi realizada por Antonialli et al. (2007) ao mapear a evolução da Leishmaniose Visceral Humana em Mato Grosso do Sul. Até 1994 a doença era endêmica de Corumbá (MS). Foi constatado que, a partir de 1998, começaram a ocorrer casos da doença fora de Corumbá. O estudo mostrou que a circulação de pessoas favoreceu a proliferação da doença para fora de Corumbá, acompanhando o eixo da rodovia BR 262, em direção a Três Lagoas em Mato Grosso do Sul e, posteriormente, a São Paulo (Figuras 10.3 e 10.4).

## GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

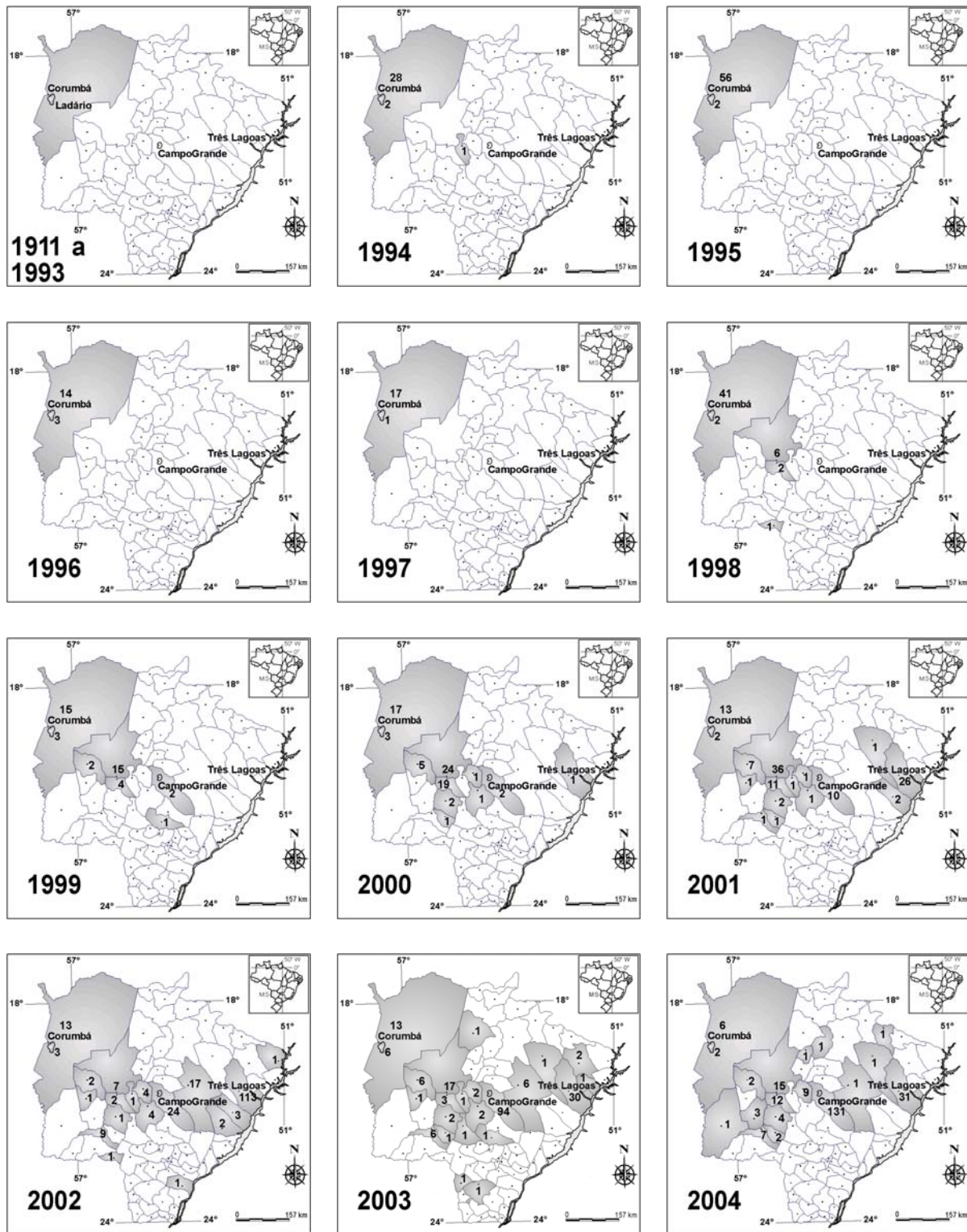


Figura 10.3. Outro exemplo de análise espacial de dados de saúde. Em destaque cinza aparecem os municípios onde foram registrados casos de Leishmaniose Visceral Humana para o ano em questão. Os números dentro de cada município se referem ao número de casos confirmados (ANTONIALLI et al., 2007).

Os dados mostram que, a partir de 1998, a doença estendeu-se além de Corumbá, acompanhando a BR 262, a Ferrovia Novo Oeste e o gasoduto Bolívia-Brasil (Figura 10.4), em direção a Três Lagoas, chegando a São Paulo (ANTONIALLI et al., 2007).

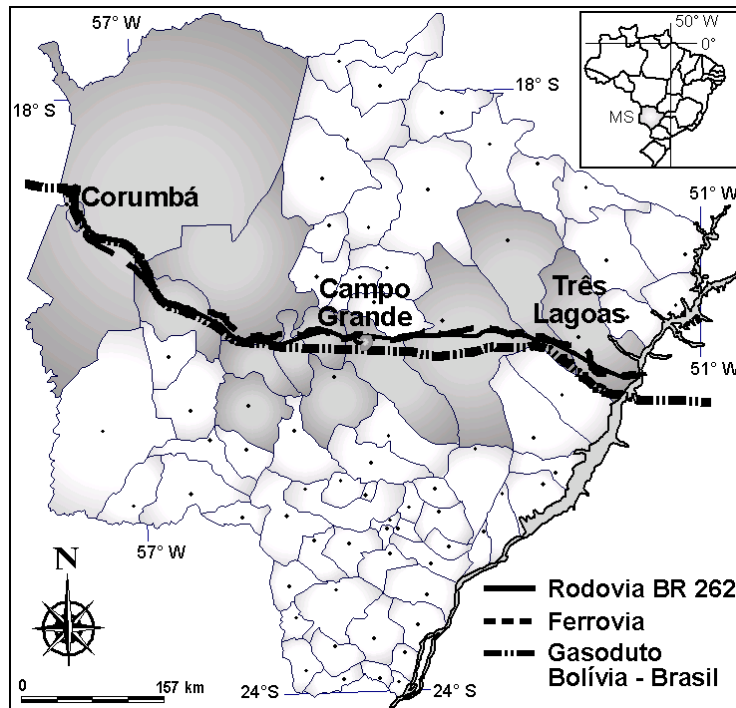


Figura 10.4. A coincidência entre a “rota” de saída da Leishmaniose Visceral Humana do Mato Grosso do Sul, em direção a São Paulo, coincidindo com as vias de intenso tráfego de pessoas, mostrando a importância da circulação de gente na propagação da doença. Em destaque cinza aparecem os municípios onde foram registrados os maiores números de casos de Leishmaniose Visceral Humana (ver também a Figura 10.3) (ANTONIALLI et al., 2007).

## 10.2. CAD e SIG

Rocha (2000) define CAD ou *Computer Aided Design* (desenho auxiliado por computador) como sistemas que armazenam dados espaciais como entidades gráficas. O autor salienta o aspecto de que, apesar dos CADs terem sido criados para elaboração de projetos de arquitetura e engenharia, frequentemente são utilizados em cartografia digital.

Porém, Câmara e Medeiros (1998) citam explicitamente que muitos problemas no uso das ferramentas de geoprocessamento decorrem do fato de que, por inexperiência, muitos técnicos utilizam sistemas CAD como SIG. Os SIGs possuem como atributos descritivos um banco de dados espaciais, já os CADs possuem somente propriedades gráficas como cor e espessura. Os autores alertam ainda para outro fato importante, os sistemas CAD, normalmente, tratam objetos com simetrias e regularidades. Ao se utilizar o geoprocessamento, os dados ambientais espaciais têm poucas simetrias e regularidades que possam ser reproduzidas.

Carreira (2010) demonstra a dificuldade de conversão de um projeto CAD em um SIG (Figura 10.5), principalmente no uso de simbologias que em CAD é informação (uma árvore é constituída por uma copa, um poste de iluminação tem um pé e uma lâmpada, uma área

ajardinada tem vários pequenos arbustos) que quando convertida em um SIG, que trabalha com pontos, linhas e polígonos é perdida, pois para os SIGs esse tipo de informação são formas de como representar os dados, ou seja, o *layout*.

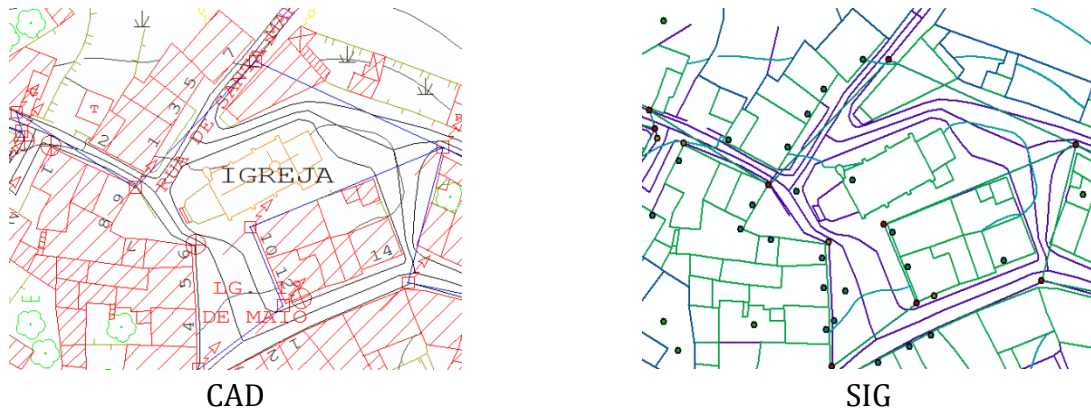


Figura 10.5. Exemplo de informação CAD original quando convertida para um SIG (CARREIRA, 2010).

Deve ser considerado que o principal aspecto que diferencia os SIGs dos CADs é que os SIGs produzem cartas de acordo com uma projeção geográfica (e *datum*) enquanto os CADs trabalham com geometria cartesiana, plana, não levando em conta a curvatura terrestre, gerando distorções de área e perímetro, como pode ser visto na Figura 11.6 onde o limite oficial da RPPN da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2008) foi aberto no *software* CAD livre DoubleCAD (IMSI/DESIGN, 2012) e no SIG livre QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2012) e apresentam área (em metros quadrados) e perímetro (em metros) diferentes.

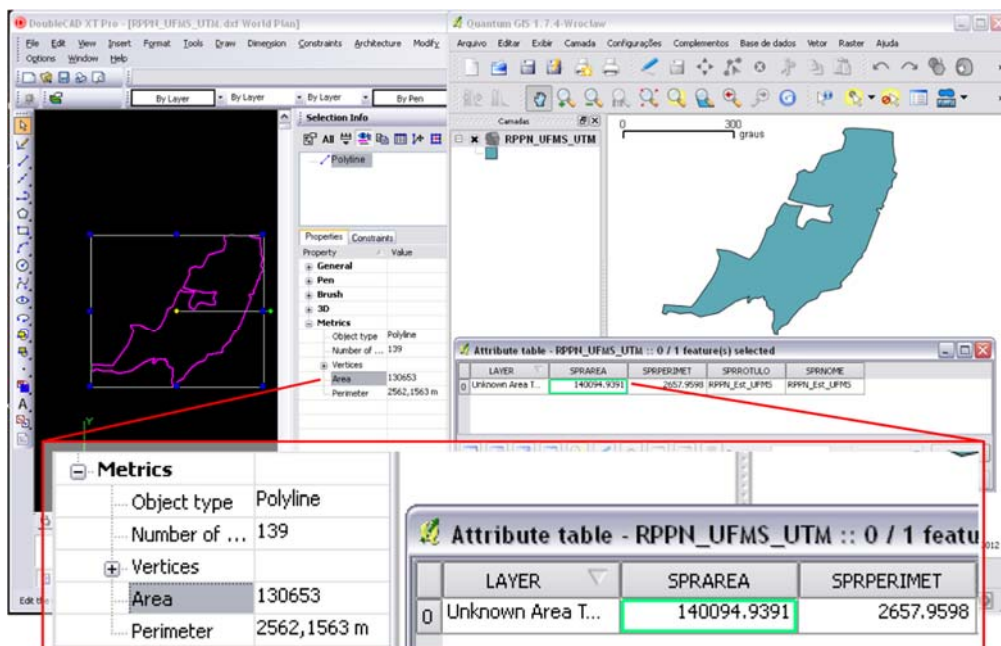


Figura 10.6. Distorções de área e perímetro no programa CAD.



É oportuno lembrar, porém, que, muitos CADs permitem a instalação de "pacotes" cartográficos que projetam e registram as informações geograficamente, fornecendo muitas das funcionalidades SIG.

Outro aspecto é a "compreensão" que o SIG possui das relações espaciais entre os diferentes elementos presentes nas cartas. Os SIGs têm a capacidade de relacionar espacialmente objetos que estejam em cartas (ou mesmo arquivos) diferentes. Além do fato de que, para muitos SIGs, as informações presentes em seus bancos de dados podem ser apresentadas na forma tabular ou em cartas. A capacidade de gerenciar o banco de dados associado às feições espaciais é outra característica peculiar dos SIGs.

Os SIGs foram desenvolvidos para o uso e análise de dados espaciais. Os CADs, respeitando seus limites, podem ser utilizados para isso.

### 10.3. Topologia

Topologia é uma área da matemática que se ocupa da geometria Heurística. Para os SIGs esta ferramenta permite a construção de mapas evitando-se o problema de não se percorrer duas vezes o mesmo caminho, ou seja, não se desenhar um mesmo arco duas vezes, com isto são evitados erros e economizados recursos computacionais (espaço em disco e volume de processamento). Complementarmente, a topologia é a forma do computador estabelecer as relações espaciais entre os elementos presentes em um mapa. Nem todos os SIGs utilizam-se diretamente da topologia, mesmo assim é um conceito importante para se compreender bancos de dados espaciais e o modo como se relacionam pontos, arcos e polígonos entre si e com o banco de dados espacial.

ESRI (1997) explica que um mapa ou base digital consiste em dois tipos de informações: espacial e descritiva. O grande diferencial de um SIG é a sua capacidade de integrar estes dois tipos de informações permitindo ao sistema interrogar as relações espaciais entre as diferentes feições presentes no mapa.

Os autores continuam explicando a importância da integração de dados tabulares e dados gráficos, pois é uma maneira poderosa de análise e visualização de dados. Pode-se acessar os dados tabulares através do mapa, clicando-se com o mouse sobre uma feição do mapa. Ou se pode criar mapas com os resultados das seleções feitas sobre as tabelas do banco de dados. Além disto, as relações topológicas são uma maneira eficiente de armazenar os dados, permitindo um rápido processamento.

O primeiro passo é entender que as feições, num modelo topológico, serão representadas por pontos, arcos e polígonos. Os pontos por si só podem representar feições como, por exemplo, postos de coleta, postes ou poços. Os arcos também podem ter significado, representando linhas de transmissão, estradas, rios ou outras feições lineares. Os polígonos representam áreas, propriedades ou temas (como um tipo de solo ou litologia).

A representação topológica permite ao SIG reconhecer o arranjo espacial das diferentes feições. Como o conjunto de feições possui um sistema de coordenadas, os SIGs podem calcular áreas e distâncias e mesmo identificar percursos. Para entender como isto é feito, deve-se compreender o modo como a topologia permite armazenar estas informações.



Para tanto, na Figura 10.7 pode-se observar a maneira como os dados referentes aos arcos e pontos são armazenados na tabela SIG. O primeiro aspecto é que existe um nó de origem e outro de destino, assim tem-se também um sentido. O nó número 4 une os arcos 3, 4 e 6, assim o sistema sabe que pode ir do arco 4 (e nó 5) ao arco 6 (e nó 6) através do nó 4. Também sabe que para ir do nó 8 ao nó 9, deve passar pelo nó 7, através dos arcos 8 e 9. O sistema pode ainda verificar se os arcos possuem nós em comum, assim o sistema desenvolve o aspecto da conectividade.

A tabela com a descrição dos arcos é constituída pelos nós de origem e de destino e as coordenadas dos pontos, de modo que o sistema pode calcular as distâncias envolvidas. Os pontos do início e final do arco são chamados de nós, enquanto os pontos existentes ao longo do arco são conhecidos como vértices.

No caso dos polígonos, em geral, topologicamente, existem duas formas de se armazená-los: alguns sistemas os representam como uma série de pares x,y que formam uma área fechada. Outros definem os polígonos a partir dos arcos que o formam (ESRI, 1997). É interessante observar que nesta segunda forma, tendo os arcos, o sistema também tem armazenadas as coordenadas dos nós e vértices que compõem o polígono.

Outro conceito que a topologia permite é o da contiguidade (ou adjacência), pois o sistema "reconhece" quais polígonos estão ao lado uns dos outros, pois pode identificar quais polígonos compartilham arcos (Figura 10.8). O compartilhamento de arcos reduz o tamanho das informações armazenadas, ou a serem processadas, e evita inconsistências na determinação dos limites entre os polígonos, pois não há o risco de uma borda de polígono se sobrepor a outra. Se os arcos têm um sentido (do nó de origem ao nó de destino), significa também que existe um lado esquerdo e outro direito (Figura 10.9).

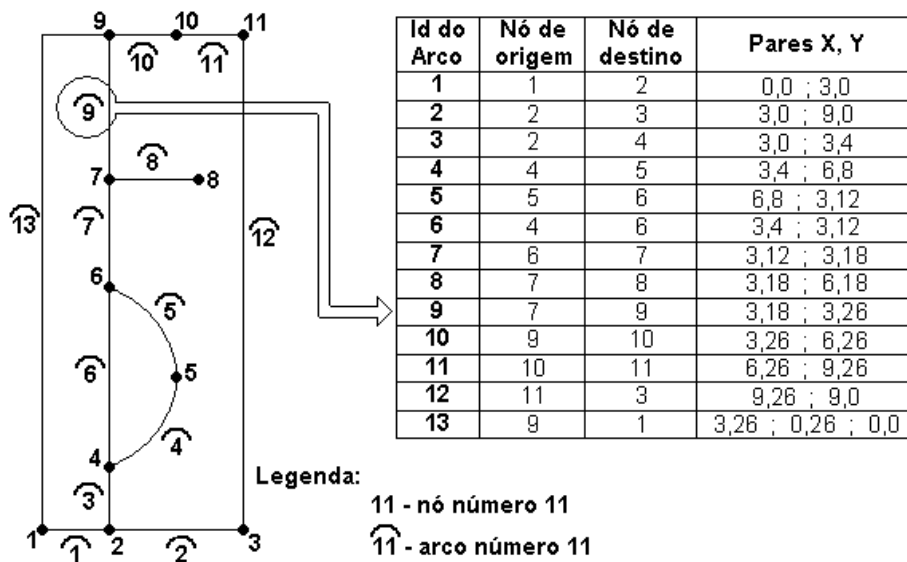


Figura 10.7. Figura esquemática mostrando como os SIGs utilizam a topologia como forma de armazenar e reconhecer arcos (modificado de ESRI, 1997). Na esquerda tem-se uma forma geométrica onde os nós e arcos estão numerados de acordo com seu identificador (id) na tabela de arcos e coordenadas na direita. Para cada arco tem-se um nó de origem e um de destino. A tabela possui ainda as coordenadas dos pontos que descrevem os arcos. A sigla Id significa identificador.

Na Figura 10.8 os arcos 4, 6, 7, 10 e 8 definem o polígono 2. Deve-se observar que, na tabela de arcos e nós o valor 0 (zero) na frente do arco 8, indica que este arco cria uma área

interna no polígono 2 (ESRI, 1997). O polígono 1, que não aparece na lista de id's (identificadores) e fica na parte externa à borda da área, é o chamado polígono universo, ou área externa.

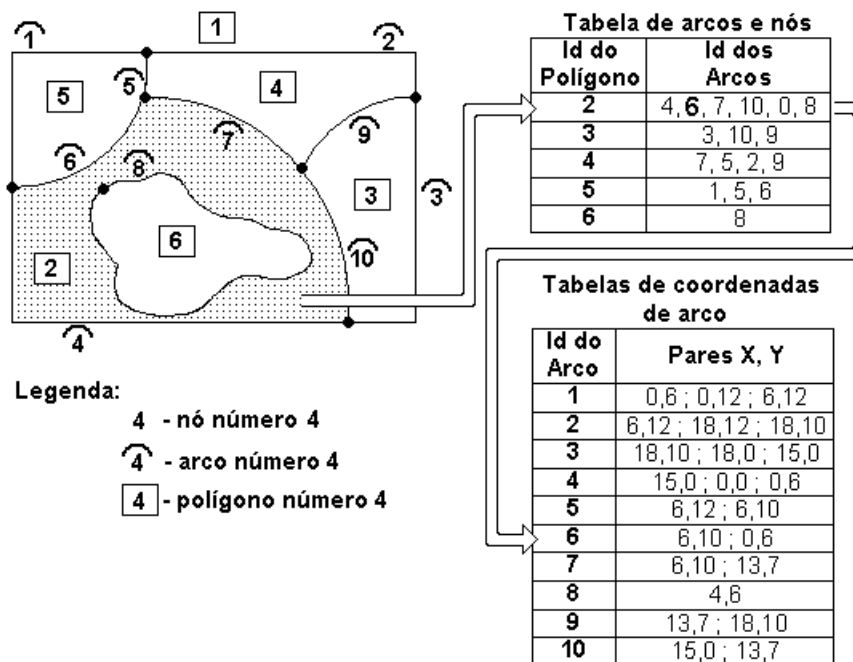


Figura 10.8. Figura esquemática mostrando como os SIG's utilizam a topologia como forma de armazenar e reconhecer polígonos (adaptado de ESRI, 1997). Na esquerda tem-se uma representação poligonal, onde os nós, arcos e polígonos estão numerados de acordo com seus identificadores nas tabelas. Cada polígono é identificado pelos arcos que o definem. A tabela possui ainda as coordenadas dos pontos que descrevem os arcos.

Desta forma, topologicamente, o sistema consegue relacionar pontos, arcos e polígonos entre si e estabelecer relações espaciais entre as feições presentes no banco de dados. Na sequência o operador pode relacionar a cada feição um atributo (característica) que a define. Para exemplificar, assim como explicado no início deste capítulo, o sistema pode estabelecer a relação espacial entre os postos de coleta (nós) ao longo de uma rede de drenagem (arcos) em uma determinada região (as parcelas que compõe esta região serão polígonos). Como cada feição (nó, arco ou polígono) possui um identificador único, o sistema é capaz de individualizá-los. O operador pode acrescentar campos às tabelas que compõe o banco de dados, gerando informações como nome das feições e outras (Figura 10.10).

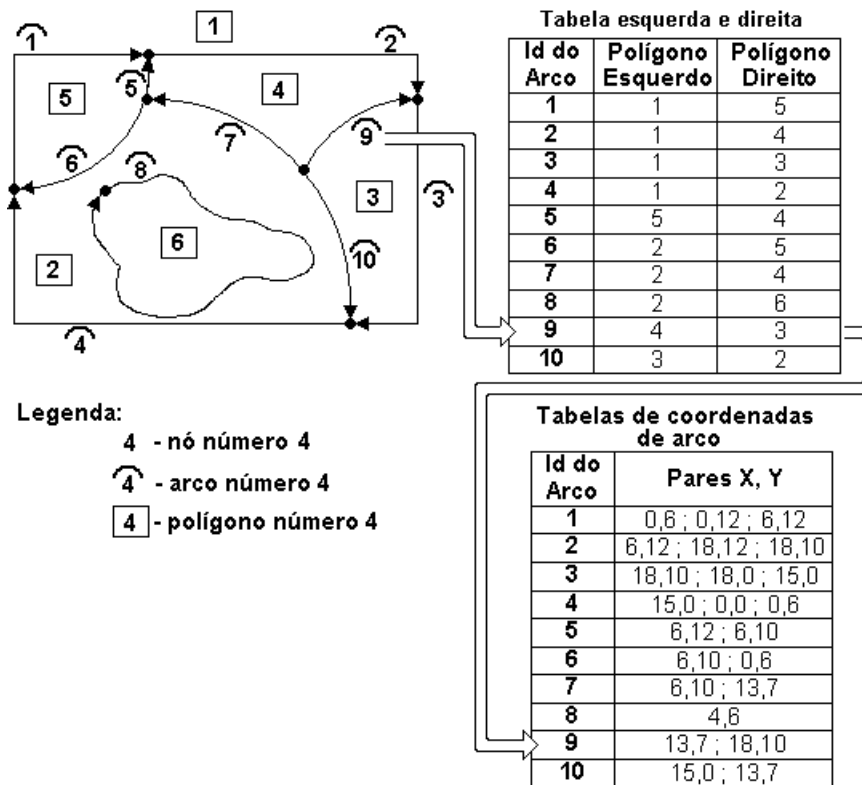


Figura 10.9. Mesmo esquema da Figura 10.8, mostrando a identificação dos polígonos à esquerda e à direita dos arcos (adaptado de ESRI, 1997). As tabelas do sistema possuem ainda as coordenadas dos pontos que descrevem os arcos.

Assim, relacionando os Ids (identificadores) dos arcos, o sistema pode identificar uma feição, descrever sua localização (coordenadas) estabelecer as relações de contiguidade e conectividade com as outras feições e exibir uma resposta a uma consulta ao sistema na forma gráfica (mapas) ou na forma tabular. Muitos bancos SIG aceitam o padrão de consulta tipo SQL (*Structured Query Language* - linguagem estruturada de interrogação).

Desta forma o sistema pode identificar que o polígono 6 (Figura 10.10) é uma lagoa no interior da propriedade de João Balão, a Fazenda São João. Que o arco 9 é um rio que nasce nas coordenadas 13,7 e sai da área nas coordenadas 18,10. Que a Rodovia Xx-03 se conecta a rodovia XX-29 pelo trevo rodoviário de coordenadas 6,10. O polígono 3 é uma área agrícola que produz soja e o polígono 5 é de Pedro Sossego, produtor de suínos. Os pontos, por si só, podem também ter significados como nascentes, entroncamentos rodoviários ou poços entre tantos outros.

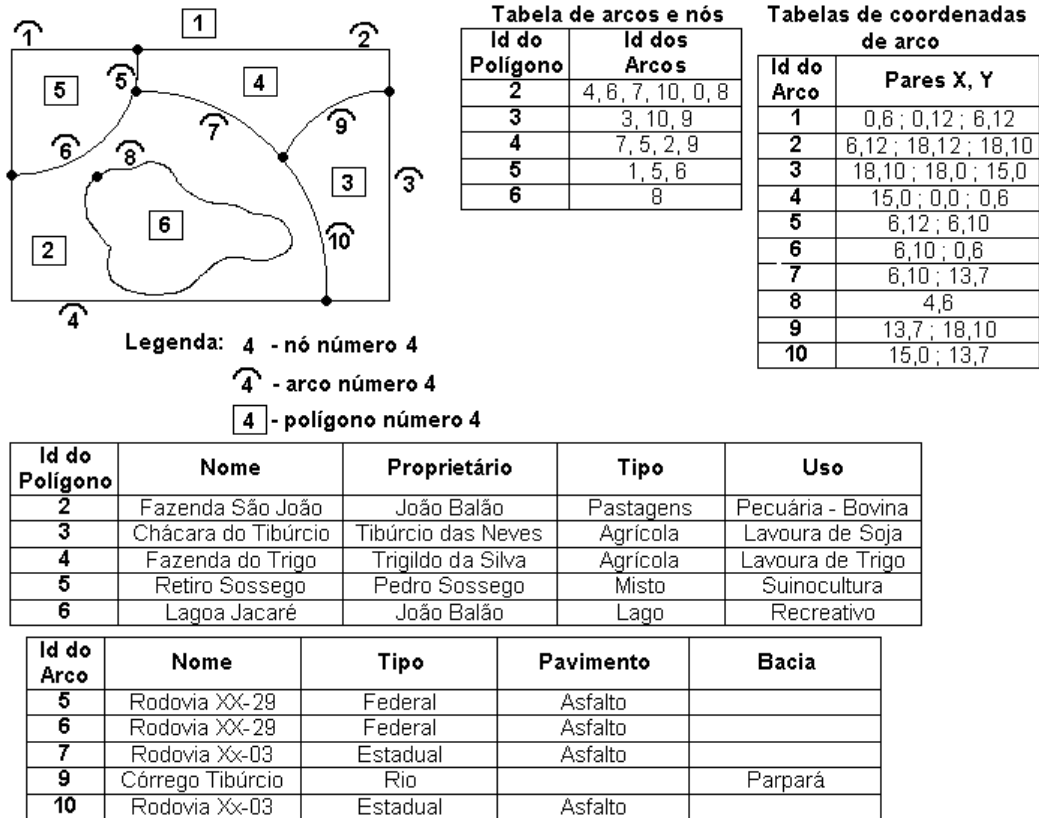


Figura 10.10. Exemplo de tabelas de atributos (as duas inferiores) e tabelas topológicas (duas superiores) representando uma situação hipotética (ver também Figuras 10.8 e 10.9).

### 10.3.1. Principais Operações SIG

Existem inúmeras operações SIG, a seguir são listadas as principais (ESRI, 1997; LILLESAND et al., 2004):

*Buffer* - ou *buffering* - é a criação de áreas homólogas, ou zonas de amortecimento, com uma largura específica determinada pelo usuário, ao redor de uma ou mais feições como pontos, arcos (linhas) ou polígonos (Figura 10.11). Podem ter esta largura fixa ou variável.

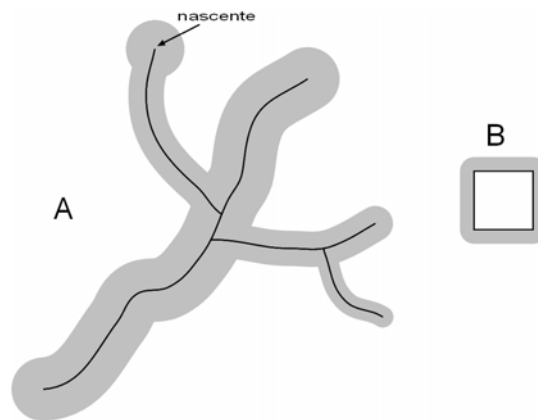


Figura 10.11. Exemplos de *buffers* (área em cinza). Em A tem-se uma drenagem a partir da qual foram gerados *buffers* em diferentes larguras, conforme a ordem da drenagem ou em especial na nascente assinalada. Além de pontos de arcos o *buffer* pode ser gerado a partir de um polígono, como em B.

*Overlay* - ou sobreposição - é uma operação que permite sobrepor dois ou mais níveis de informação (ou mapas) para gerar um terceiro (Figura 10.12).

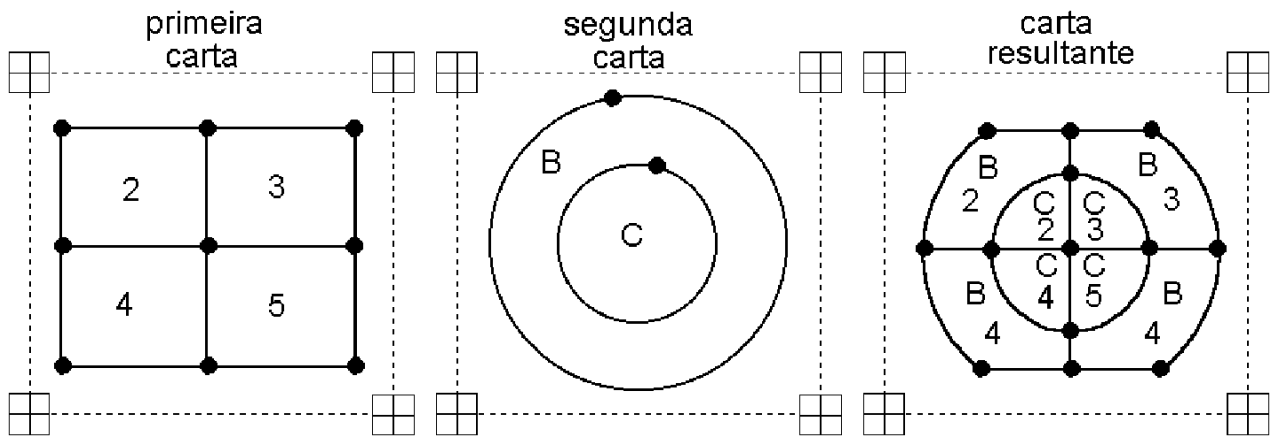


Figura 10.12. Exemplo de sobreposição de cartas (*overlay*), neste caso mostrando a interseção de cartas em ambiente SIG (modificado de ESRI, 1997). As letras e números representam diferentes atributos das áreas que os contém. Assim os polígonos de saída mostram a interseção das áreas e das características nelas contidas. A união de cartas também é possível em ambiente SIG.

**Agregação** - em um banco SIG (ou carta) classes mais detalhadas podem ser agregadas, gerando níveis mais simples, menos detalhados. Por exemplo, em uma carta de cobertura, dois ou três tipos de cerrados diferentes podem ser agregados em uma única classe. Existem operações SIG que permitem também um maior detalhamento, subdividindo uma classe em duas ou mais.

**Análise de Rede** - permite que seja determinado o caminho mais curto ou mais rápido em uma rede. Esta rede pode ser uma estrutura viária, com o arruamento e/ou estradas e rodovias ou ainda uma rede hidrográfica. Através de estruturas topológicas o sistema compreende o sentido do fluxo e sua intensidade também pode ser determinada.

**Intervisibilidade** - é uma operação utilizando modelagem de elevação que permite a geração de visualizações em perspectiva e assim a determinação de quais feições do terreno podem ser visualizadas de diferentes localizações, como topos de morros ou fundos de vales. Este tipo de modelagem tem sido especialmente útil para a escolha da localização de antenas de comunicação. Também podem ser geradas visualizações em perspectivas das áreas de interesse para simulação e avaliação do relevo ou outros parâmetros geomorfológicos (Figura 15.1 - Capítulo 15 - Modelagem do Terreno).

### 10.3.2. Exemplo de Aplicação - Análise Multitemporal

A seguir tem-se um exemplo envolvendo classificação de imagens de satélite e integração dos resultados em ambiente SIG.

Os sistemas e técnicas de sensoriamento remoto, estabelecidos a partir do início dos anos 1970 (ver Capítulo 1), podem permitir o estudo da evolução ambiental de determinadas regiões do globo, exibindo, principalmente, as modificações ocorridas na cobertura do solo.



Ao se comparar as características de um mesmo local em diferentes épocas e se observar as modificações ocorridas, tem-se a análise multitemporal. Estudos multitemporais já foram conduzidos com resultados satisfatórios em várias regiões do mundo interessadas em evidenciar mudanças ambientais.

Do ponto de vista SIG, este tipo de análise é feito com uma operação de sobreposição de cartas (chamada *overlay*), que resulta na interseção das cartas dos diferentes períodos (Figura 10.12) e o resultado é apresentado como tabelas ou cartas.

No caso de análise multitemporal, a primeira carta é de um período e a segunda de outro. A carta de saída mostra as feições que permaneceram iguais em ambas datas/cartas (letra e número iguais) ou as áreas que se modificaram (letra e número diferentes) e, neste caso, pode-se determinar o tipo de modificação que ocorreu e o local onde esta modificação foi verificada.

Outros exemplos de análise deste tipo são possíveis. Imagine que na Figura 10.12 o número é o tipo de solo e a letra é o tipo de uso e ocupação. Desta maneira o usuário do sistema pode avaliar se o uso do solo é condizente com o tipo de vocação do terreno. Qualquer tipo de análise que precise relacionar espacialmente dois ou mais tipos de cartas pode ser realizada desta forma.

Um exemplo prático deste tipo de análise é o trabalho de Paranhos Filho (2000), desenvolvido sobre a Bacia do Taquarizinho, MS. Para monitorar as mudanças ocorridas na cobertura do solo desta bacia, foram integradas, em SIG, uma carta de cobertura dos anos 60 e duas cartas de cobertura obtidas por classificação automática de imagens Landsat TM, de 1985 e 1996 (Figuras 10.13 e 10.14).

Resumidamente, a análise mostrou que as mudanças observadas no tipo de uso do solo são grandes, os sistemas naturais foram substituídos por atividades agropastoris. Em 1966 cerca de 91% da superfície da Bacia do Taquarizinho era ocupada por áreas naturais (14,5% de matas e 71,8% de cerrado). Em 1985 as superfícies naturais representavam menos de 28%. E em 1996 este valor se elevou para cerca de 33%, devido a um aumento no valor da área de cerrados (representavam 12,3% em 1985 e 21,5% em 1996), porém o valor de área das matas caiu de 15,5% em 1985 para 11,1% em 1996. Para fins de comparação, os diferentes tipos de cobertura foram simplificados em somente dois tipos: coberturas naturais, na sua maior parte cerrado e mata ou coberturas antrópicas, na sua maioria áreas utilizadas pela agropecuária.

É importante notar que a análise em SIG permite identificar o quanto foi modificado no tipo de cobertura da bacia e, também, onde ocorreram as mudanças. Deste modo, mesmo observando-se que o valor de superfície das áreas antrópicas diminuiu em 1996 em relação a 1985, pode-se notar que áreas que eram naturais em 1985 foram desmatadas em 1996, portanto, em áreas abandonadas pela agropecuária, o cerrado voltou a crescer.

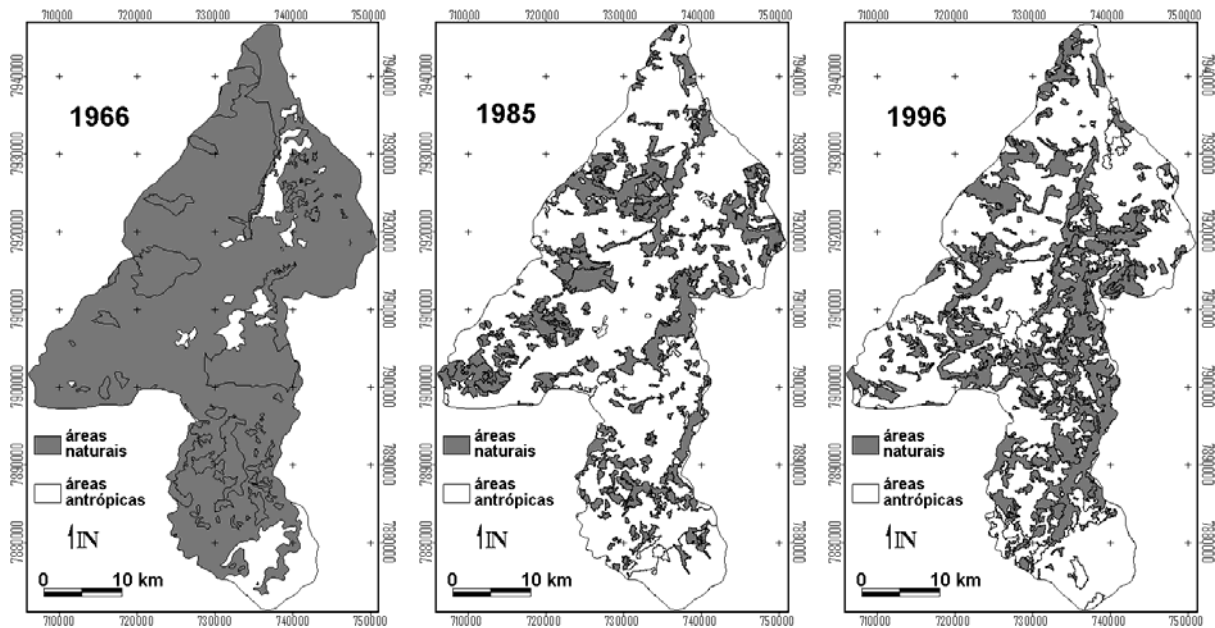


Figura 10.13. A comparação multitemporal da mudança da cobertura do solo na Bacia do Taquarizinho, MS, mostra a mudança dos sistemas naturais por atividades agropastoris, no período de 1966 a 1996 (adaptado de PARANHOS FILHO, 2000).

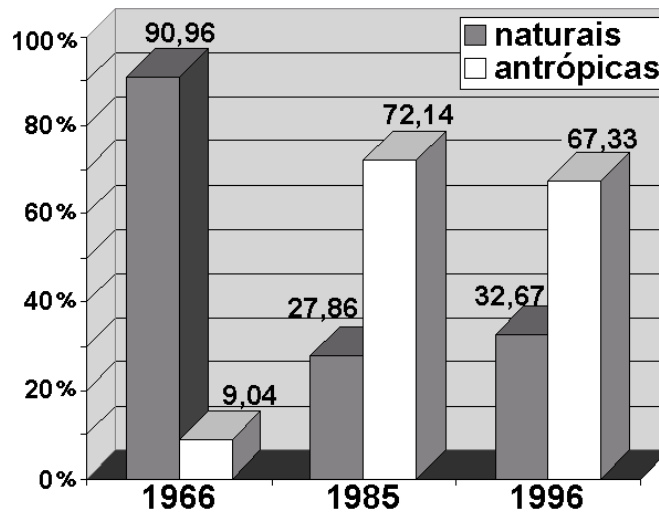


Figura 10.14. Variação da cobertura do solo da Bacia do Taquarizinho, mostrada na Figura 10.13 (adaptado de PARANHOS FILHO, 2000).

### 10.3.2. Exemplo de Aplicação SIG – Álgebra de Mapas

Uma forma de se obter novas informações pode ser pelo cruzamento de diferentes dados. Desta forma ao se cruzar dois ou mais mapas, pode-se chegar a um novo mapa, com novas informações. Manualmente, os usuários usavam mesas de luz para fazer a sobreposição de diferentes mapas, cujas escalas eram ajustadas previamente.

Um SIG permite que novos mapas sejam criados não somente da sobreposição de duas ou mais cartas (operação de *overlay*), mas também permite a "operação" de cartas, usando mapas como parâmetros em equações, somando, multiplicando ou fazendo qualquer outra operação matemática. Este tipo de procedimento é conhecido como álgebra de mapas.

O ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) é o ideal para integrar dados, informações e cartas de naturezas diferentes. Por exemplo, dados climáticos e cartas topográficas ou de solos podem ser analisados em conjunto, levando toda a informação para uma base comum, o que permite a sua integração e uso (PARANHOS FILHO et al., 2003).

A Equação Universal de Perdas dos Solos (EUPS ou USLE – WISCHMEIER e SMITH, 1978) é um modelo empírico que é atualmente utilizada, com sucesso, como uma forma para a avaliação da perda dos solos por erosão laminar e pode ser considerada um indicador da degradação ambiental (PARANHOS FILHO et al., 2003).

Os parâmetros envolvidos com a USLE podem ser obtidos da digitalização de cartas temáticas ou tabelas (Figuras 10.15 e 10.16). O ambiente SIG permite a completa integração entre os dados para a obtenção dos parâmetros da USLE e os resultados podem ser apresentados como cartas de erosão laminar dos solos.

A Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978):

$$A = R \cdot K \cdot (L \cdot S) \cdot C \cdot P$$

Onde:

- $A$  = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha. ano);
- $R$  = erosividade da chuva, pode ser obtida de cartas;
- $K$  = erodibilidade do solo, pode ser obtida de cartas pedológicas, onde para cada tipo de solo é atribuído o valor de  $K$ ; diferentes tipos de solos possuem diferentes características que implicam em diferentes erodibilidades;
- $L$  = comprimento da vertente, em ambiente SIG, pode ser calculado a partir do modelo digital de elevação;
- $S$  = declividade da vertente, em ambiente SIG, pode ser obtido a partir da carta de declividade;
- $LS$  em conjunto é o fator topográfico à erosão e considera que quanto mais longas e inclinadas as vertentes, maior velocidade e capacidade erosiva a água vai possuir ao escorrer por sua superfície;
- $C$  = uso e manejo do solo, pode ser obtido a partir da carta de uso e ocupação do solo;
- $P$  = práticas conservacionistas, pode ser obtido a partir da carta de uso e ocupação do solo;
- $CP$  em conjunto relacionam que diferentes tipos de cobertura e manejo do solo implicam em diferentes taxas de erosão.

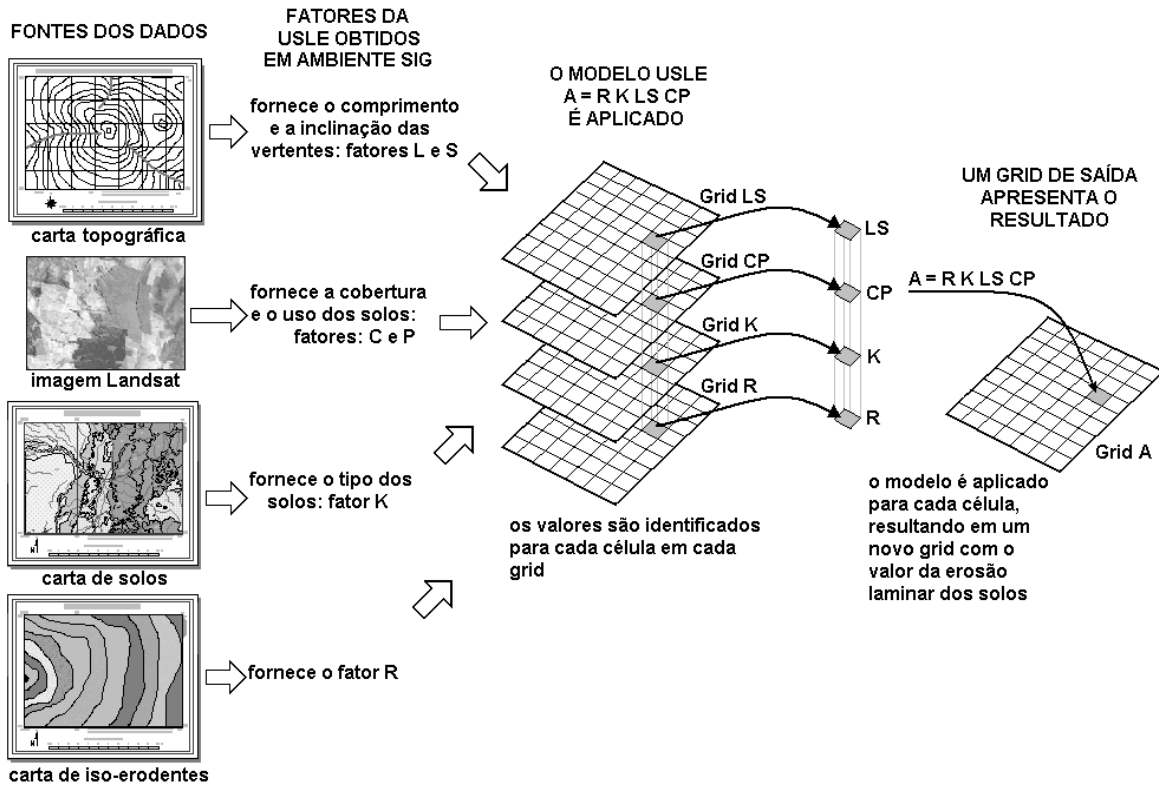
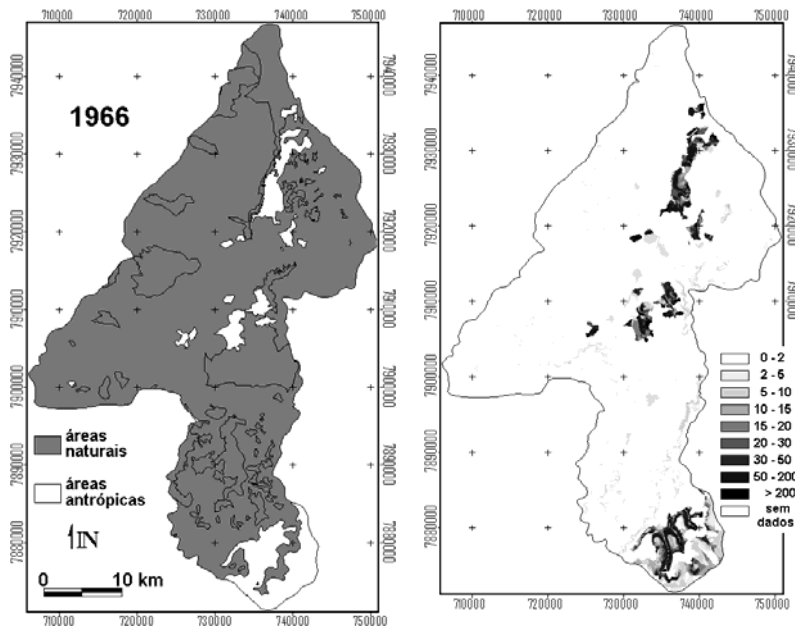


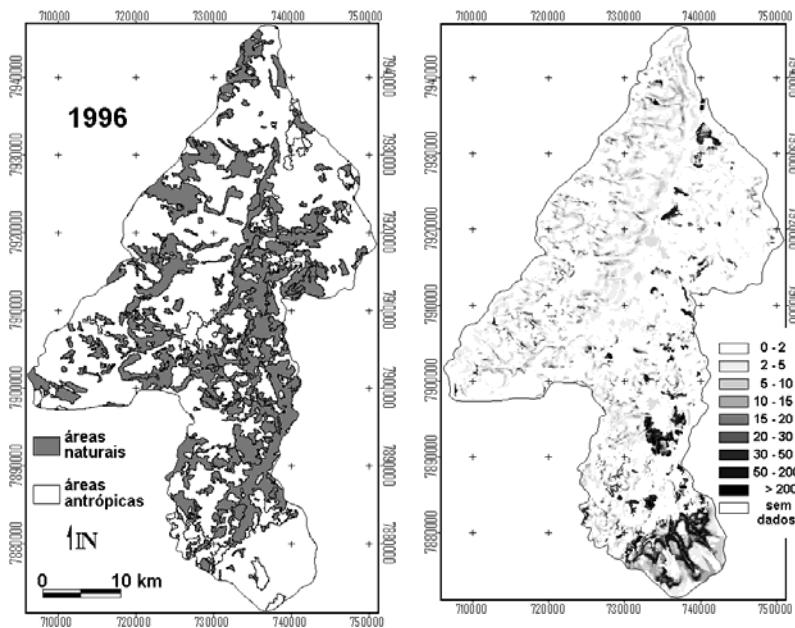
Figura 10.15. Exemplo de modelagem de um fenômeno natural em um SIG (baseado em PARANHOS FILHO, 2000; LILLESAND et al., 2004). A erosão laminar dos solos pode ser calculada utilizando-se a equação Universal de Perdas dos Solos (USLE – WISCHMEIER e SMITH, 1978), a partir de cartas temáticas, base topográfica e imagem de satélite é possível se obter as cartas dos parâmetros envolvidos na USLE. Estas cartas podem ser processadas em conjunto, gerando uma nova carta com o valor da erosão laminar dos solos.



(A) Carta de cobertura do solo de 1966 para a Bacia do Taquarizinho e respectiva carta de erosão laminar dos solos.

cobertura do solo

erosão laminar dos solos em ton/ha. ano



(B) Carta de cobertura do solo de 1996 para a Bacia do Taquarizinho e respectiva carta de erosão laminar dos solos

cobertura do solo

erosão laminar dos solos em ton/ha. ano

Figura 10.16. Exemplo da modelagem da Equação Universal de Perdas dos Solos (USLE – WISCHMEIER e SMITH, 1978), para a bacia do Rio Taquarizinho. As mudanças ocorridas na cobertura do solo da bacia tiveram impacto direto nos valores de erosão laminar dos solos que no período de 1966 a 1996 dobraram. É importante notar que além de se quantificar a massa de solos perdida, pode-se identificar quais são os locais em que a erosão laminar é mais crítica na área de estudo.



## 10.4. Como escolher um SIG?

Medeiros (2020) cita alguns pontos que devem ser analisados no processo de escolha de um SIG. O autor deixa claro que não existe uma regra para definir qual é o mais adequado para seu trabalho e que não é correto dizer que um SIG é melhor que outro.

A análise do objetivo do projeto e das funções disponíveis no *software* são de fundamental importância para a escolha do SIG, já que é muito comum os programas serem destinados a funções específicas. Por exemplo, se o objetivo do trabalho remete à utilização de imagens de satélite, é interessante o emprego de um programa que possua ferramentas para o processamento dessas imagens (MEDEIROS, 2020). Se houver ainda a necessidade de realização de classificação orientada a objeto, é necessário utilizar um SIG que tenha essa funcionalidade.

Verificar o plano de desenvolvimento e a extensibilidade do *software* é muito interessante também. Programas que estão sempre se atualizando, trazendo novas versões e permitindo o aumento da sua aplicabilidade através da instalação de novos complementos, remetem ao fato de que os desenvolvedores estão em busca de melhorias, de modo a atender as demandas exigidas pelos usuários (MEDEIROS, 2020). Como exemplo, cita-se o QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020), que é um SIG livre e aberto e que vem trazendo novas versões e novos complementos de forma muito frequente.

Medeiros (2020) traz que a realização de testes de desempenho também configura uma forma de escolher os programas aspirantes para seu trabalho. Além disso, o autor menciona que é possível trabalhar com mais de um programa, visto que eles se complementam.

Mioto (2014), em sua dissertação, trabalhou com três SIGs em conjunto: gvSIG, QGIS e SPRING, todos gratuitos, não encontrando dificuldades em manipular dados vetoriais e matriciais gerados entre eles.

## 10.5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecem também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 10.6. Referências

- ANTONIALI, S. A. C.; TORRES, T. G.; PARANHOS FILHO, A. C.; TOLEZANO, J. E. Spatial analysis os American Visceral Leishmaniasis in Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. **Journal of Infection**, v. 54, n. 5, p. 509-514, 2007.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. *In*: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Embrapa, 1998.
- CARREIRA, D. **QGIS e CAD**. Via SIG. 2010. Disponível em: <https://blog.viasig.com/2010/07/qgis-e-cad/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Understanding GIS - The ARC/INFO method**. 4. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 1997. 526 p.
- IMSI/Design. **DoubleCAD XT**. 2012.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley e Sons Inc, 2004. 763 p.
- MEDEIROS, A. **Como escolher um Software de SIG**. ClickGEO. 2020. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/como-escolher-um-software-de-sig/>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- MIOTO, C. L. **Geotecnologias na análise ambiental de microbacias para abastecimento humano**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2014.
- PARANHOS FILHO, A. C. **Análise GeoAmbiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. 2000. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2000. 213 p.
- PARANHOS FILHO; A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas dos solos na Bacia do Rio Taquarizinho através de SIG. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 52, p. 49-59, 2003.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2012. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/en/site/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS – um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto**. Disponível em: [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](https://www.qgis.org/pt_BR/site/). Acesso em: 24 ago. 2020.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000. 220 p.
- SISLA. **Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental**. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2008. Disponível em: [http://sisla.imasul.ms.gov.br/sisla/pagina\\_inicial.php](http://sisla.imasul.ms.gov.br/sisla/pagina_inicial.php). Acesso em: 20 ago. 2020.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. **Agriculture Handbook**, n. 537, 1978. 57 p.

## Softwares Livres e Gratuitos

**Camila Leonardo Miotto<sup>1\*</sup>, Luciana Escalante Pereira<sup>1</sup>, José Renato Silva de Oliveira<sup>2</sup>, Edilce do Amaral Albrez<sup>3</sup>, Lucas Cemin Forbrig<sup>4</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>5</sup>, Vinícius de Oliveira Ribeiro<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Mestrando em Geociências pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, <sup>3</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Geógrafo pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>5</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, <sup>6</sup>Doutor em Tecnologias pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Camila Leonardo Miotto, Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.

E-mail: ea.miotto@gmail.com

Nos últimos anos, o acesso à internet vem se globalizando pelo mundo, gerando a cada dia novos usuários. Essa facilidade de acesso culminou no crescimento de uma tecnologia que está a acesso de todos. Hoje no mercado de *softwares* existem vários tipos de licenças.

Assim como o próprio significado da palavra, a licença de um *software* está relacionada ao grau de permissão que o usuário tem sobre a mesma. Em algumas licenças essa permissão é limitada, como é o caso dos *softwares* comerciais, sendo ao usuário simplesmente permitido o seu uso. Outras licenças, como é o caso dos *softwares* livres, permitem ao usuário realizar alterações no *software*, como modificar o código fonte e fazer o bem que entender com sua versão modificada. A seguir são apresentados alguns tipos de licença de *softwares*.

**SOFTWARE COMERCIAL:** é aquele que é desenvolvido por uma empresa visando o lucro através do *software* (FSF, 2020). Para a FSF (2020), *software* comercial e *software* proprietário são diferentes, já que existem *softwares* livres comerciais e *softwares* não-comerciais e não-livres.

**SOFTWARE LIVRE:** qualquer programa que tem a liberdade de ser usado, copiado, modificado e redistribuído. Pode ser vendido ou disponibilizado gratuitamente. A possibilidade de modificações implica na abertura de seu código fonte. A maioria dos *softwares* livres é licenciada como GNU GPL ou BSD. *Software* livre está relacionado à liberdade de utilização e não de preço (FSF, 2020).

**SOFTWARE PROTEGIDO COM COPYLEFT:** é um *software* livre cujos termos de distribuição não permitem que os programadores incluam restrições adicionais quando eles forem redistribuir ou modificar o *software*. De uma forma mais clara, isto significa que toda a cópia de *software*, mesmo que tenha sido modificada, precisa ser também um *software* livre (FSF, 2020).

**SOFTWARE LIVRE SEM COPYLEFT:** é o tipo de *software* onde o autor permite além da modificação e redistribuição, que sejam adicionadas restrições ao *software*. Um usuário pode modificar o programa e distribuir o instalador na forma de um produto proprietário (FSF, 2020).

**SOFTWARE COM LICENÇA PERMISSIVA E LENIENTE:** tipo de licença que possibilita quase qualquer uso do código (FSF, 2020). A FSF (2020) cita a licença X11 e a BDS. A primeira possibilita que qualquer pessoa pode copiar o software, utilizando-o sem restrição, desde que mantenha o aviso de *copyright* (SABINO, 2011). Já a BDS (*Berkeley Software Distribution*) permite que usuários usem, modifiquem e distribuam o *software*, exigindo apenas que o nome do autor original não seja empregado sem permissão (SABINO, 2011).

**SOFTWARE NÃO LIVRE:** trata-se de um *software* que só poderá ser utilizado, modificado ou redistribuído se o usuário tiver permissão para isso (FSF, 2020).

**SOFTWARE PROPRIETÁRIO:** outro termo utilizado para *software* não livre. É aquele cuja cópia, redistribuição ou modificação são proibidas ou requer solicitar permissão ou pagar para utilizar (FSF, 2020).

**SOFTWARES PRIVATIVOS:** é desenvolvido para um usuário em específico, que pode ser uma organização ou uma empresa. Esse usuário usa o programa, porém não libera para o público (FSF, 2020).

**COPYRIGHT:** uma das licenças mais conhecidas. Trata-se de uma licença fechada, ou seja, o usuário não tem a permissão de alterar, modificar, distribuir e nem criar nada sem a permissão do autor da licença. É a licença utilizada pela Microsoft, por exemplo (GNU/LINUX, 2012).

**FREWARE:** *software* que pode ser redistribuído, mas não modificado, já que seu código fonte não está disponível. Estes *softwares* não são livres (FSF, 2020).

**SHAREWARE:** seu código fonte não está disponível, não podendo ser modificado. É preciso pagar uma licença para copiar e instalar (FSF, 2020).

**TRIAL:** é a versão para o usuário testar o *software*. Algumas funções são disponibilizadas geralmente no período de 30 dias, para que o usuário possa experimentá-lo e verificar se ele atende ou não às suas necessidades (FORNARI, 2009).

**DEMO:** versão de demonstração semelhante ao *Trial*. É possível usar o programa por um tempo ou com apenas algumas funções disponíveis (FORNARI, 2009).

**CÓDIGO ABERTO (OPEN SOURCE):** a FSF (2020) traz que esse termo é empregado por muitas pessoas como sinônimo de *software livre*. Porém, estabelece que não pertencem exatamente a mesma classe, existindo pequenas diferenças, como, por exemplo, casos em que o código fonte que é código aberto não é livre. Gonçalves (2012) defende que os *softwares* em código aberto mantêm as liberdades fundamentais do *software* livre, entretanto retira o conceito de *copyleft*, pois considera que a redistribuição dos projetos modificados deve permanecer flexível, admitindo aos programadores deixar o programa como livre ou torná-lo proprietário.

**SOFTWARE DE DOMÍNIO PÚBLICO:** é o *software* não protegido por *copyright*, ou seja, não é protegido por direitos autorais. Algumas cópias ou versões modificadas podem ser não livres. Existem situações em que o programa pode estar em domínio público, mas sem disponibilizar o código fonte (FSF, 2020).

## 11.1. Software Livre x Software Open Source / Código Aberto

*Software* livre se refere à liberdade que os usuários do programa têm de executar, alterar, melhorar o *software*. Na verdade, é um programa como qualquer outro sendo a única diferença associada ao tipo de licença, a qual deve garantir quatro liberdades segundo a FSF (2020): a liberdade de executar o programa como você desejar; a liberdade de estudar e modificar o programa de acordo com suas necessidades; a liberdade de redistribuir cópias, permitindo ajuda ao próximo; a liberdade de aperfeiçoar o programa e distribuir os aperfeiçoamentos de modo que toda a comunidade se beneficie.

O *software* de código aberto (*open source*) mantém as liberdades fundamentais do *software* livre, entretanto ele retira o conceito de *copyleft*, pois considera que a distribuição dos aperfeiçoamentos do programa deve permanecer flexível, deixando a critério do programador a possibilidade de manter o *software* como livre ou de torná-lo proprietário (GONÇALVES, 2012). Alguns o consideram como uma campanha de marketing para o *software* livre (STALLMAN, 2010).

Assim, o *software* livre trata de questões mais filosóficas, preocupando-se com as consequências políticas, econômicas e sociais que envolvem a existência de *software* proprietário, considerando a distribuição do código fonte junto ao programa apenas uma das razões para que o *software* livre possa existir. Já o *software* de código aberto preocupa-se com as maneiras de se garantir a disponibilização do código fonte para qualquer um que quiser utilizá-lo (CAMPOS, 2006a).

Em suma, pode-se considerar que todo *software* livre é *open source*, mas que nem todo *open source* pode ser considerado *software* livre. Outra diferença é que o *open source* possibilita a interação com *software* proprietário, enquanto o *software* livre não permite o mesmo (Tabela 11.1) (GONÇALVES, 2012).

Tabela 11.1. Diferenças entre *software* livre e *open source* (GONÇALVES, 2012).

<i>Software livre</i>	<i>Open Source</i>
Não coexiste com <i>software</i> proprietário.	Perspectiva do <i>software</i> livre mais pragmática e orientada ao mundo empresarial.
Garante uma cadeia de distribuição aberta.	Não tem obrigações <i>copyleft</i> .
Garante a liberdade de utilização e mantém essa liberdade em projetos derivados.	Não ignora as 4 liberdades do <i>software</i> livre.
Estabelece a impossibilidade legal de adquirir <i>software</i> livre, modificá-lo e torná-lo <i>software</i> proprietário.	Considera que a distribuição posterior de projetos modificados deve permanecer flexível.
	Considera que o <i>software</i> livre e o <i>software</i> proprietário devem coexistir.



## 11.2. Projeto GNU

Em 1983, Richard Stallman anunciou a criação do projeto GNU, o qual apresentava como primeiro objetivo o desenvolvimento de um sistema operacional que fosse portátil, 100% livre e compatível com o Unix (CAMPOS, 2006a). Esse projeto foi idealizado como uma forma de se trazer de volta o espírito cooperativo que predominava na comunidade de computação nos seus primórdios, o que tornaria a cooperação possível novamente ao retirar as dificuldades à cooperação impostos pelos donos de *softwares* proprietários (GNU OPERATING SYSTEM, 2013).

Para promover o desenvolvimento e o uso de *software* livre em todas as áreas da computação, foi criada em 1985 a *Free Software Foundation* – FSF (Fundação para *Software* Livre), sem fins lucrativos. Sua criação objetivava também auxiliar no processo de desenvolvimento do sistema operacional GNU e promover a liberdade e defender os direitos dos usuários de *software* livre em todo o mundo (GNU OPERATING SYSTEM, 2013; FSF, 2013).

## 11.3. Licenças de Softwares Livres

Existem diversas licenças livres conhecidas. Dentre elas tem-se a GPL ou GNU *General Public License*, a Licença BDS, a Licença MPL ou *Mozilla Public License*, a Licença ASL ou *Apache License*.

A Licença Pública Geral pode ser chamada tanto de GNU-GPL ou somente GPL, quando já estiver entendido que se trata da licença GNU-GPL a licença em questão. É a licença mais utilizada por parte de projetos de *software* livre (GNU OPERATING SYSTEM, 2013). É considerada a licença mais importante, sendo considerada não-permissiva. Isto significa que a redistribuição de aplicativos sob ela licenciados só é admitida se for mantida a garantia de liberdade para aqueles que fizerem uso da cópia, assim como obriga que as versões modificadas do *software* original também sejam livres e distribuídas juntamente com o código fonte (CAMPOS, 2006a).

A licença BSD – *Berkeley Software Distribution* (Distribuição de *Software Berkeley*) se trata de uma licença permissiva, porque impõe poucas restrições às formas de uso, alterações e redistribuição dos *softwares*. O programa pode ser vendido e não há obrigações quanto à disponibilidade do código fonte, fazendo com que o mesmo possa ser incluído em *software* proprietário (HEXSEL, 2002). Segundo Sabino e Kon (2009), licenças permissivas são uma ótima opção para projetos que possuam objetivo de atingir o maior número de pessoas, não importando que seja na forma de *software* livre ou de *software* fechado.

A Licença MPL ou *Mozilla Public License* foi utilizada como referência para muitas licenças de *software* livre comercial. É similar ao *copyleft*, porém com restrições reduzidas em relação aos trabalhos derivados (SILVA, 2015), visto que a alteração ou cópia do código fonte deve permanecer sobre esta licença. Destaca-se a possibilidade de criação de uma versão proprietária de um código sob tal licença (CAMPOS, 2006b).

Por fim, a Licença ASL ou *Apache License* é permissiva, porém obriga que seja incluída na documentação ou no *software* uma cópia da licença Apache e também um arquivo chamado “AVISO”, onde constarão informações importantes, como a afirmação de alteração do arquivo (SABINO e KON, 2009; APACHE, 2019).

#### 11.4. Sistema GNU/Linux

O sistema GNU/Linux é um sistema operacional, assim como Windows (Microsoft) e o Mac OS (Apple). De acordo com Stallman (2020) ele é uma versão modificada do sistema GNU.

O Linux é um *kernel* (núcleo) que nasceu do projeto de um estudante chamado Linus Torvalds em 1991 e em 1992 foi transformado em *software* livre. O *kernel* é o principal programa de um computador, é ele que realiza as funções mais básicas do sistema. A junção deste *kernel* com as ferramentas do projeto GNU, fez nascer um sistema operacional completo, distribuído de forma livre, o GNU/Linux, sendo essa a forma correta de ser chamado (nota-se que é popularmente denominado de Linux (STALLMAN, 2020).

Esse sistema operacional possibilita que o usuário escolha seus *softwares*, apresentando menor probabilidade em travar, maior capacidade de executar vários programas ao mesmo tempo e mais seguro que outros sistemas operacionais (DEBIAN, 2020). Atualmente existem diversas versões do sistema operacional, conhecidas como “distros” (distribuição) (STALLMAN, 2020), as quais geralmente são disponibilizadas de forma gratuita nos sites das mantenedoras, como o Ubuntu e o Slackware (KURTZ, 2015).

Uma das principais vantagens do GNU/Linux é que ele pode ser executado em qualquer computador, mesmo sendo mais antigo. Além disso, arquivos maliciosos e vírus não funcionam e atacam esse sistema. Em relação às desvantagens, é que muitos programas não podem ser instalados ou apresentam limitações dentro desse sistema operacional (KURTZ, 2015).

#### 11.5. Alguns Softwares Livres/Gratuitos

Atualmente, há a disposição do usuário uma grande variedade de programas que podem ser aplicados nas mais diferentes atividades. Com isso, surge a necessidade de novas atualizações e aperfeiçoamentos, demandando melhorias para os programas já utilizados e a criação de novos para a utilização dos usuários.

Com o advento dos *softwares* livres todos os usuários foram beneficiados. Isso não só pelo fato de o código fonte estar disponível e facilitar a cópia, alteração e redistribuição das versões modificadas, proporcionando a expansão e divulgação do conhecimento, mas também pelo fato de grande parte deles estarem disponíveis de forma gratuita na rede, surgindo como uma alternativa à pirataria.

Muitas são as opções de *softwares* livres e gratuitos disponibilizados na rede. São *softwares* destinados à criação e edição de vetores, editor de imagens e de textos, sistemas

gerenciadores de bancos de dados, servidores de páginas *web*, planilhas eletrônicas, gestão empresarial, entre outros. Abaixo são citados alguns deles.

### 11.5.1. GIMP

O GIMP – GNU *Image Manipulation Program* (Programa de Manipulação de Imagens GNU) foi desenvolvido por Peter Mattis e Spencer Kimball e teve seu primeiro lançamento em 1998. É um programa gratuito e de código aberto, permitindo que o usuário faça alterações, adaptando o programa de acordo com suas necessidades, voltado para a criação e edição de imagens (GIMP BRASIL, 2011; GIMP, 2013).

Com ele é possível trabalhar com dados *raster* de diferentes formatos, como JPG, TIFF, GIF, BMP, entre outros. É aplicado na manipulação de fotografias digitais através do redimensionamento de fotos, alteração de cores, combinação de imagens utilizando camadas, remoção das partes indesejadas. Além disso, o GIMP permite a conversão de arquivos em vários formatos de imagem digital (SILVA, 2011a). A manipulação de dados *raster* deste *software* permite que ele seja aplicado como um programa auxiliador dos SIGs, principalmente na confecção de mapas. Atualmente, existe um *plugin* do GIMP para uso no QGIS.

### 11.5.2. Inkscape

O Inkscape é derivado de um projeto chamado *Sodipodi* e foi iniciado em 2003. É um editor de desenhos vetoriais semelhante ao *Adobe Illustrator*, *Corel Draw* e *Freehand*. Seus principais atrativos estão relacionados à sua interface e às suas funções as quais são bem simples de usar e, também, à sua capacidade de utilizar o formato SVG (*Scalable Vector Graphics*), uma espécie de padrão entre programas vetoriais (MEIRELLES, 2002).

O Inkscape possui diversas funcionalidades avançadas de desenho vetorial, como geração de desenho vetorial através de imagens, operações e transformações entre objetos vetoriais e as funcionalidades mais básicas, como desenho vetorial livre, colorações e gradientes, camadas, entre outras tantas funcionalidades (NOVAIS, 2012).

### 11.5.3. OpenOffice/BrOffice

A OpenOffice.org surgiu no final de 1990, quando a empresa alemã *Star Division*, que desenvolvia desde 1980 um pacote de escritório denominado *StarOffice*, foi adquirida pela empresa americana *Sun Microsystems*. No ano de 1998, a *Star Division* optou por tornar esse pacote um programa gratuito. A empresa *Sun* se interessou pelo programa, comprando-o no ano seguinte e em outubro de 2000, a mesma liberou o código fonte da maioria dos módulos do *StarOffice*, lançando assim o projeto OpenOffice.org (MEDEIROS, 2010).

Estima-se que em 2001 surgiu a primeira proposta de tradução do OpenOffice.org para o português brasileiro e um ano após surgiu então o OpenOffice.org Projeto Brasil. Em 2004, devido a problemas com a marca “*Open Office*”, já registrada por uma empresa brasileira, foi

necessária a troca do nome da comunidade, sendo escolhido o termo BrOffice.org (MEDEIROS, 2010).

Apesar da mudança de nome, o BrOffice.org continuou representando o OpenOffice.org, apresentando todas as características e recursos deste. As diferenças básicas entre os dois consistem basicamente nas adaptações que foram incluídas no BrOffice.org para tornar o pacote de escritório mais próximo do dia-a-dia do usuário brasileiro (MEDEIROS, 2010). Os aplicativos que fazem parte do pacote são: *BrOffice Writer* (para criação e edição de textos), *BrOffice Calc* (para criação de planilhas eletrônicas), *BrOffice Impress* (para apresentação de slides, criação de desenhos), *BrOffice Draw* (para criar fluxogramas), *BrOffice Math* (para criação e edição de equações matemáticas) (BRASIL, 2020).

## 11.6. Alguns SIGs Livres/Gratuitos

A evolução dos SIGs livres e gratuitos tem sido muito rápida. Atualmente, diversos SIGs estão disponíveis na rede e vêm sendo muito utilizados por grande parte da comunidade científica, demonstrando que, assim como os *softwares* proprietários, também são capazes de produzir excelentes resultados. Diversos tutoriais e vídeos estão disponíveis na internet, auxiliando os usuários na utilização desses SIGs.

É muito importante comentar que cada programa tem sua particularidade e que cada um deles irá atingir públicos alvos específicos. Além disso, algo que se deve ter em mente é que, ao se tratar de SIGs, não existirá o *software* perfeito, nem o melhor e o mais completo, por mais caro que ele possa custar. O que irá definir a escolha ou preferência pelo programa irá depender de vários fatores. Um deles está relacionado ao objetivo que se pretende alcançar, ou seja, quais são os produtos que se almejam; outro fator está relacionado às tecnologias disponíveis para alcançar esse objetivo; o grau de intimidade que o usuário possui com as tecnologias também é muito importante na escolha de qual programa será utilizado (ANDRADE, 2011).

### 11.6.1. SPRING



Fonte:  
dpi.inpe.br/spring

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um SIG brasileiro desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em cooperação com a Embrapa/CNPTIA (Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura), IBM Brasil (Centro Latino-Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa), TECGRAF – PUC Rio (Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica da PUC-Rio) e PETROBRÁS/CENPES (Centro de Pesquisas “Leopoldo Miguez”) (INPE, 2019a).

Desde o início do seu desenvolvimento, o projeto estabeleceu entre seus objetivos construir um aplicativo SIG que fosse capaz de ser aplicado na agricultura, gestão ambiental, geologia, geografia e no planejamento (urbano e regional). Possui versões para as plataformas Microsoft (MS) Windows e baseadas em sistemas Unix, suportando grandes volumes de dados em diferentes formatos vetoriais e matriciais. Conta com vários algoritmos e ferramentas para

processamento digital de imagens, modelagem numérica de terreno, interpolação e análise espacial (MEDEIROS, 2012).

É um SIG gratuito, em código aberto (*open source*) (INPE, 2019b).

### 11.6.2. QGIS

O projeto QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), tendo início em fevereiro de 2002, sendo que em junho deste mesmo ano foi lançada sua primeira versão. É um SIG gratuito, funcionando em sistema Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android (QGIS, 2020).



Fonte: [blog.qgis.org](http://blog.qgis.org)

Por ser um *software* livre distribuído com a licença GPL (*GNU General Public License*), é possível participar no processo de desenvolvimento, assim como desenvolver/escrever novas aplicações. São permitidas contribuições na forma de novos códigos, correções e relatórios de bugs, na tradução do QGIS para algum idioma, e é possível também auxiliar nos canais de suporte (QGIS, 2020).

O QGIS suporta inúmeros formatos de dados geográficos, tanto no formato vetorial como matricial, possuindo uma grande variedade de funções, fornecidas tanto pelo programa de base, como pelas suas extensões. Atualmente, é um dos SIGs mais utilizados, tendo vista a variedade de *plugins* e complementos que possui.

### 11.6.3. SAGA



Fonte: [saga-gis.org](http://saga-gis.org)

O SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) começou a ser desenvolvido em 2001 através de esforços de J. Böhner e O. Conrad da Universidade de Hamburgo, Alemanha. Em 2004 foi publicado como um *software* de código aberto, sendo lançado em 2007 (SAGA GIS, 2020).

Possui um grande número de algoritmos e diversas funções (GEOSABER, 2020), podendo ser executado em Windows e Linux, permitindo a geração e edição de dados vetoriais, raster e tabulares (MEDEIROS, 2011; SOURCE FORGE, 2016). Possui integração com o QGIS.

### 11.6.4. TerraView



Fonte: [dpi.inpe.br](http://dpi.inpe.br)

O TerraView é construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, que manipula dados vetoriais e matriciais, ambos armazenados em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) relacionais ou geo-relacionais, como *PostgreSQL*, *PostGIS*, *Oracle* e outros (SILVA, 2011b).

De acordo com a página oficial do programa, seus principais objetivos são apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta e análise dos mesmos; e exemplificar a utilização da biblioteca TerraLib (INPE, 2020). Para usuários



iniciantes, o TerraView exibe os princípios básicos das técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, banco de dados geográfico e de sistemas de informações geográficas (SILVA, 2011b).

O Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, em parceria com a Faculdade de Geografia e Cartografia da Universidade do Pará – FGC/UFPA, capacita técnicos municipais da Amazônia desde 2007 no uso de ferramentas de geoprocessamento e elegeram o TerraView como *software*, já que é considerado adequado à capacitação devido à sua facilidade de utilização e nos repasse de conhecimentos facilitados pela disponibilização de tutoriais de forma gratuita no site do INPE (SILVA, 2011b).

#### 11.6.5. GRASS GIS



Fonte: [grasswiki.osgeo.org/](http://grasswiki.osgeo.org/)

O GRASS GIS (Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos) é um SIG gratuito e de código aberto. Empregado para análises espaciais, processamento de imagens, modelagem espacial e geração de gráficos e mapas, vem sendo utilizado por diversos usuários, tanto acadêmicos como comerciais em todo o mundo, sendo traduzido para cerca de 20 idiomas. Também pode ser utilizado em conjunto ao QGIS (GRASS GIS, 2020).

#### 11.6.6. WebGIS (WebMapping)

*WebGIS*, também denominado de *WebMapping* é um SIG desenvolvido baseado na internet e pode ser entendido como a distribuição de informações geoespaciais através de uma *web Server* (ALVES, 2011). Consiste no desenvolvimento de aplicações para ambiente *web* que possibilita ao usuário a visualização e a interação com mapas e dados centralizados em uma única fonte de dados. Além disso, pode tornar prático o acesso a diversas informações, como a de uso e ocupação do solo, áreas protegidas ou de uso restrito e que potencialmente poderão vir a servir de instrumento de resolução de conflitos fundiários urbanos (RIBEIRO, 2011).

É interessante destacar que uma aplicação *WebMapping* não contém apenas mapas, mas faz uso também de outras formas de representação de dados, como gráficos e relatórios interativos ou até mesmo consulta de dados (KANEGAE, 2003). Na Tabela 11.2 estão dispostas algumas das vantagens e desvantagens em se utilizar/desenvolver *WebMapping*.

Tabela 11.2 Vantagens e desvantagens *WebMapping* (MEDEIROS, 2013a).

Vantagens	Desvantagens
Facilidade de manuseio pelo usuário final (aplicações amigáveis).	Tempo de carga de dados.
Independência de sistema operacional.	Limitações das análises espaciais.
O usuário só precisa de um computador com navegador e acesso à internet.	Não substitui um SIG por completo.
Podem interagir com sistemas <i>desktop</i> ou outros sistemas de internet (interoperabilidade).	
Permite diferentes tipos de acesso aos dados.	

Algumas das principais ferramentas WebGIS livres são o *MapServer*, *GeoServer* *OpenLayers*, *i3Geo* (MEDEIROS, 2009).

O *Mapserver* é um projeto administrado dentro da *OSGeo* pelo *MapServer Project Steering Committee* (PSC) e roda nos principais sistemas operacionais como Linux, Mac, Windows. Destaca-se por aceitar inúmeros formatos, tanto matriciais como vetoriais, tanto abertos como proprietários, e o melhor é que é um *software* livre e gratuito (MEDEIROS, 2013b).

O *GeoServer* é um servidor *open source* escrito em Java, que permite aos usuários compartilhar e editar dados geoespaciais, sendo desenvolvido pelo projeto *GeoServer*. Permite exibir dados em qualquer um dos aplicativos de mapeamento, como o *Google Maps*, *Google Earth*, *Yahoo Maps*. Além disso, o *GeoServer* pode se conectar com arquiteturas de SIG tradicionais, como o ESRI ArcGIS (GEOSERVER, 2014).

O *i3Geo* (Interface Interativa para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento) é um aplicativo desenvolvido pela CGTI (Coordenação Geral de Tecnologia de Informação) do Ministério do Meio Ambiente e distribuído sob a licença GPL, tendo como objetivo de propagar o uso do geoprocessamento com instrumento técnico-científico e implementar uma interface genérica para acesso de dados geográficos existentes em instituições públicas, privadas ou não governamentais (BRASIL, 2013).

### 11.6.7. gvSIG

O gvSIG é um projeto desenvolvido pela *Conselleria d'Infraestructures i Transports* (CIT) da Comunidade de Valência, com o apoio da União Europeia, tendo seu lançamento oficial em outubro de 2004, construído sobre a plataforma Java. A versão mais recente do software foi lançada em 2020. É um SIG Gratuito, que pode ser executado em sistema Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android (GVSIG, 2020a).



Fonte: gvsig.com

Tem sua licença de distribuição livre sob a licença GPL (GNU *General Public License*). Por tal, torna-se possível a participação no processo de desenvolvimento/ aprimoramento de aplicações. As contribuições podem se dar na forma de novos códigos, correções e relatórios de bugs e na tradução do gvSIG para algum idioma. Há

também a possibilidade de buscar e fornecer auxílio nos canais de suporte (GVSIG, 2020b).

O gvSIG permite manipular e editar diversos tipos de formatos, vetoriais e raster, arquivos, bases de dados e serviços remotos, tendo a sua disposição todo tipo de ferramentas para analisar e gerenciar sua informação geográfica. Possui uma gama de complementos que podem ser adicionados às funções padrão do SIG, para manipulação dos dados geoespaciais.

### 11.6.8. Google Earth Engine (GEE)

Imagina poder ter acesso a uma grande quantidade de dados de geoespaciais, da ordem de *petabytes*, sem necessariamente ter estes arquivos ocupando espaço em disco. É exatamente essa a proposta do *Google Earth Engine*, desenvolvido para ser uma plataforma de processamento de dados geoespaciais baseada em nuvem. De forma totalmente gratuita o GEE permite ao usuário visualizar, editar e interpretar dados de diversas fontes, pois conta com um vasto conjunto de imagens de satélite, dados vetoriais, sociais, demográficos, meteorológicos, modelos digitais de elevação e dados climáticos (KUMAR e MUTANGA, 2018; GORELICK et al., 2017).

Diferente dos softwares convencionais o GEE funciona por meio de uma Interface de Programação de Aplicativos ou API (*Application Programming Interface*) onde é possível realizar a integração com as linguagens de programação *JavaScript* e *Python*. O processamento de dados é realizado por *scripts* no editor de códigos. Uma tarefa como por exemplo, realizar uma classificação não-supervisionada ou calcular um Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, exige que o usuário escreva o *script* para obter o resultado desejado. Há também a possibilidade de salvar e compartilhar estes códigos. Atualmente é possível encontrar *scripts* para diversos tipos de processamentos, sendo que o usuário tem a possibilidade de alterá-los de acordo com as suas necessidades.

## 11.7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecem também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental), da Universidade Federal de Rondonópolis, Mato Grosso. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 11.8. Referências

- ALVES, J. da S. **Software GIS livre e o ensino-aprendizagem da geografia**. 2011. Monografia (Licenciatura Plena em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2011. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1051/1/PDF%20-%20Jailson%20da%20Silva%20Alves.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- ANDRADE, E. de L. Redescobrimo os SIG como software livre. **Revista FOSSGIS Brasil**, ano 1, n. 1, p. 19-23, mar. 2011. Disponível em: [http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista\\_FOSSGIS\\_Brasil\\_Ed\\_01\\_Marco2011.pdf](http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista_FOSSGIS_Brasil_Ed_01_Marco2011.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.
- APACHE. **Apache Licence, Version 2.0**. 2019. Disponível em: <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Download do i3Geo**. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento/download-do-i3geo>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Linux Educacional**. 2020. Disponível em: [http://webeduc.mec.gov.br/linuxeducacional/curso\\_le/pdf/baixar\\_para\\_impresao\\_todos\\_m odulos.pdf](http://webeduc.mec.gov.br/linuxeducacional/curso_le/pdf/baixar_para_impresao_todos_m odulos.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.
- CAMPOS, R. R. de. **Características de Sistemas Integrados de Gestão Empresarial desenvolvidos sob o modelo de software livre: informações para suporte à fase de seleção e viabilidade de instalação em pequenas empresas**. 2006a. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2006.
- CAMPOS, A. **O que é software livre**. BR-Linux.org. 2006b. Florianópolis, mar. 2006. Disponível em: <http://br-linux.org/linux/faq-softwarelivre>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- DEBIAN. **O que é GNU/Linux?** Debian.org. 2020. Disponível em: [https://www.debian.org/releases/sarge/i386/ch01s02.html.pt\\_BR](https://www.debian.org/releases/sarge/i386/ch01s02.html.pt_BR). Acesso em: 26 jun. 2020.
- FORNARI, A. R. **Estudo comparativo da aderência de ferramentas livres ao PMBOK (2004)**. 2009. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/5210>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- FSF. Free Software Foundation. **The Free Software Foundation (FSF) is a nonprofit with a worldwide mission to promote computer user freedom and to defend the rights of all free software users**. 2013. Disponível em: <http://www.fsf.org/about/>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- FSF. Free Software Foundation. **Categorias de softwares livres e não livres**. 2020. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/categories.pt-br.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- GEOSABER. **Aplicativos abertos (Open Source) e gratuitos de SIG**. Blog Geosaber. 2020. Disponível em: <http://geosaber.weebly.com/sig-gratuito.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- GEOSEVER. **Welcome**. Open Source Geospatial Foundation. 2014. Disponível em: <http://geoserver.org/about/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GIMP BRASIL. **Conhecendo o GIMP e a sua interface**. 2011. Disponível em: <https://www.gimpbrasil.org/2011/05/conhecendo-o-gimp-e-sua-interface.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GIMP. **A brief history of GIMP**. 2013. Disponível em: [http://www.gimp.org/about/ancient\\_history.html](http://www.gimp.org/about/ancient_history.html). Acesso em: 26 jun. 2020.

GNU/LINUX. **Copyright e Copyleft Significados**. 2012. Disponível em: <http://gnulinuxx.wordpress.com/2012/11/19/copyright-e-copyleft-significados/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GNU OPERATING SYSTEM. **Visão Geral do Sistema GNU**. O Sistema Operacional GNU. 2013. Disponível em: <http://www.gnu.org/gnu/gnu-history.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GONÇALVES, C. **SIG em código aberto e patrimônio urbano**. 2012. Dissertação (Mestrado em Reabilitação da Arquitectura e Núcleos Urbanos) – Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5450/1/Catarina%20Gon%C3%A7alves.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GRASS GIS. **Grass GIS 7.8.3 released**. GRASS GIS News. 2020. Disponível em: [https://staging.grass.osgeo.org/news/2020\\_05\\_05\\_grass\\_gis\\_7\\_8\\_3\\_released/](https://staging.grass.osgeo.org/news/2020_05_05_grass_gis_7_8_3_released/). Acesso em: 26 jun. 2020.

GVSIG. **gvSIG: tecnologias e soluções livres para trabalhar com informação geográfica**. gvSIG Association. 2020a. Disponível em: <<http://www.gvsig.com/pt/produtos>>. Acesso em: 26 jun. 2020.

GVSIG. **Conheça o gvSIG Desktop, o Sistema de Informação Geográfica Livre**. gvSIG Association. 2020b. Disponível em: <<http://www.gvsig.com/pt/produtos/gvsig-desktop>>. Acesso em: 26 jun. 2020.

HEXSEL, R. A. Software livre – Propostas de ações de governo para incentivar o uso de software livre. **Relatório Técnico RT-DINF 004/2002**. Departamento de Informática – Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em: [http://www.inf.ufpr.br/pos/techreport/RT\\_DINF004\\_2002.pdf](http://www.inf.ufpr.br/pos/techreport/RT_DINF004_2002.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. 2019a. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. 2019b. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SER 301 – Análise Espacial de Dados Geográficos**. 2020. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser301/software.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

KANEGAE, E. P. **Democratizando a geoinformação através do WebMapping**. 2003. Disponível em: [http://www.webmapit.com.br/downloads/ekanegae-WebMapping\\_jun2003.pdf](http://www.webmapit.com.br/downloads/ekanegae-WebMapping_jun2003.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.



KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1509. 2018.

KURTZ, J. **Linux: tudo o que você precisa saber antes de começar a usar**. Blog TechTudo. 2015. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/03/linux-tudo-o-que-voce-precisa-saber-antes-de-comecar-usar.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

MEDEIROS, A. M. L. de. **Desenvolvimento de uma aplicação webmapping direcionada às pesquisas educacionais**. 2009. Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MEDEIROS, A. V. M. **Um pouco da história do OpenOffice.org e o BrOffice.org**. Blog Viva o Linux. 2010. Disponível em: <http://www.vivaolinux.com.br/artigo/Conheca-o-OpenOffice.org-e-o-BrOffice.org?pagina=3>. Acesso em: 26 jun. 2020.

MEDEIROS, A. M. L. de. **Você conhece estes softwares livres para SIG?** ClickGeo – Cursos de Geotecnologias. 2011. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/softwares-livres-sig/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

MEDEIROS, A. M. L. de. Spring – Tecnologia brasileira para SIG. **Revista FOSSGIS Brasil**, ano 1, v. 4, p. 47-50, jan. 2012. Disponível em: [http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista\\_FOSSGIS\\_Brasil\\_Ed\\_04\\_Janeiro\\_2012.pdf](http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista_FOSSGIS_Brasil_Ed_04_Janeiro_2012.pdf). Acesso em: 03 jun. 2020.

MEDEIROS, A. M. L. de. **WebMapping: Vantagens e Desvantagens**. ClickGeo – Cursos de Geotecnologias. 2013a. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/webmapping-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

MEDEIROS, A. M. L. de. **Conheça melhor o MapServer**. ClickGeo – Cursos de Geotecnologias. 2013b. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/conheca-melhor-mapserver/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

MEIRELLES, A. **Inkscape**. Hardware.com.br 2002. Disponível em: <http://www.hardware.com.br/livros/kurumin7/inkscape.html>. Acesso em: 03 jun. 2020.

NOVAIS, C. **Inkscape: uma ferramenta completa para desenho vetorial**. Fórum do Ubuntu. 2012. Disponível em: <http://ubuntued.info/inkscape-uma-ferramenta-completa-para-desenho-vetorial>. Acesso em: 03 jun. 2020.

QGIS. **QGIS – A liderança do SIG de código aberto**. QGIS.ORG. 2020. Disponível em: [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/about/index.html#:~:text=QGIS%20%2D%20A%20lidera n%C3%A7a%20do%20SIG,Open%20Source%20Software%20\(FOSS\)](https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html#:~:text=QGIS%20%2D%20A%20lidera n%C3%A7a%20do%20SIG,Open%20Source%20Software%20(FOSS)). Acesso em: 03 jun. 2020.

RIBEIRO, C. A. de. M. Utilização do i3Geo para gestão municipal. **Revista FOSSGIS Brasil**, ano 1, v. 3, p. 32-34, set. 2011. Disponível em: [http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista\\_FOSSGIS\\_Brasil\\_Ed\\_03\\_Setembro\\_2011.pdf](http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista_FOSSGIS_Brasil_Ed_03_Setembro_2011.pdf). Acesso em: 03 jun. 2020.

SABINO, V.; KON, F. Licenças de software livre – Histórias e Características. **Relatório Técnico RT-MAC-IME-USP 2009-01**. Departamento de Ciência da Computação – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://ccsl.ime.usp.br/pt-br/publicacao/2009/licencas-software-livre-historia-e-caracteristicas>. Acesso em: 03 jun. 2020.

SABINO, V. C. **Um Estudo sistemático de licenças de software livre**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo,

São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45134/tde-14032012-003454/publico/MestradoVanessaSabino.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2020.

SAGA GIS. **Welcome to the SAGA homepage**. SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses. 2020. Disponível em: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SILVA, C. F. da. **O GIMP como ferramenta no auxílio da inclusão digital para o público da terceira idade**. 2011a. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Artes Visuais) – Departamento de Artes Visuais do Instituto de Artes da Universidade de Brasília, Barretos, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/4479>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SILVA, C. N. da. Experiências de capacitação com TerraView. **Revista FOSSGIS Brasil**, ano 1, v. 2, p. 26-29, jun. 2011b. Disponível em: [http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista\\_FOSSGIS\\_Brasil\\_Ed\\_02\\_Junho\\_2011.pdf](http://www.fernandoquadro.com.br/fossgis/Revista_FOSSGIS_Brasil_Ed_02_Junho_2011.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.

SILVA, P. C. de L. **Licenças de Software Livre**. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Petronio\\_Silva/publication/289335748\\_Licencas\\_de\\_Codigo\\_Aberto/links/568b9c7008aebccc4e1bfba9.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Petronio_Silva/publication/289335748_Licencas_de_Codigo_Aberto/links/568b9c7008aebccc4e1bfba9.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.

SOURCE FORGE. **SAGA GIS Brasil**. 2016. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/saga-gis-br/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

STALLMAN, R. **Porque o código aberto não compartilha dos mesmos objetivos do software livre**. O Sistema Operacional GNU. 2010. Disponível em: <http://www.gnu.org/philosophy/open-source-misses-the-point.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

STALLMAN, R. **Linux e Sistema GNU**. O Sistema Operacional GNU. 2020. Disponível em: <https://www.gnu.org/gnu/linux-and-gnu.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

# Geotecnologias Livres/Gratuitas Aplicadas ao Saneamento Básico

Vinicius de Oliveira Ribeiro<sup>1\*</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Livre-docente pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

**\*Autor correspondente:**

Vinicius de Oliveira Ribeiro, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: [viniciusoribeiro@yahoo.com.br](mailto:viniciusoribeiro@yahoo.com.br)

Empresas e departamentos responsáveis por serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto sanitário no País, em sua grande maioria, são providas de setores e mão de obra voltada à elaboração e gestão dos projetos operacionais e de engenharia. Mesmo assim, no aspecto tangente à tecnologia de informação aliada aos mapas ou projetos, ainda não há, em sua totalidade, sistemas de gestão que utilizem e tratem a informação de forma espacial e temporal. Isto pode ser obtido com uso de técnicas de modelagem espacial de dados ou geoprocessamento.

Muitas vezes, devido à escassez de recursos e a prioridade ao setor operacional, deixa-se de investir em ferramentas de geotecnologias devido aos elevados custos de aquisição dos principais Sistemas de Informação Geográfica - SIG comerciais disponíveis no mercado.

Há uma enorme variedade de *softwares* SIG livres e gratuitos disponíveis para utilização que podem ser alternativas aos SIG comerciais. Na opção por algum, deve-se observar sua compatibilidade com o sistema operacional, sua interoperacionalidade (suporte a diferentes formatos de dados geográficos) com demais *softwares*, sejam comerciais ou não, bem como a periodicidade de suas atualizações. Isso vale para a manipulação de informações do tipo raster, dados tabulares ou os padrões do *Open Geospatial Consortium* (OGC), tais como o *Warehouse Management System* (WMS), ou Sistema de Gerenciamento de Armazém. A interface intuitiva também é fator determinante na continuidade do projeto.

Por se tratar de assunto recente, somente no início dos anos 80 Richard M. Stallman foi o primeiro a formalizar esta maneira de pensar para o *software* livre (Licença Geral Pública – GPL ou GNU), há uma lacuna de trabalhos aplicados na funcionalidade de geotecnologias livres e/ou gratuitas, tais como os SIG livre e gratuitos, aplicados às necessidades de embasamento de funções relacionadas ao saneamento básico.

Este capítulo aborda a criterização da seleção de um *software* SIG livre e gratuito, a composição de seu banco de informação, e exemplos da aplicabilidade em demandas na área do saneamento básico.

## 12.1. Criterização para composição e seleção do software SIG

O primeiro passo na seleção de um software sistema de informação geográfica -SIG que irá abrigar o banco de dados é a definição clara e suficientemente detalhada das atividades da área fim para sua implementação, de forma a identificar suas principais demandas. Sob este enfoque, Ribeiro (2013), por exemplo, de maneira simplificada, criterizou os modos de avaliação para seleção do software SIG livre e gratuito utilizados na composição do banco do SIG do setor de Projetos de Esgoto da Companhia de Saneamento de Mato Grosso do Sul - SANESUL. No período de janeiro de 2010 a maio de 2012 efetuou-se o controle e gestão das atividades efetuadas pelo Setor, com seu referido enquadramento dentro das classes propostas, e o tempo de execução por atividade. Dividiram-se os trabalhos do setor em quatro grandes áreas: A classe 1 abrangeu a análise de imagens e afins relacionados a estudo de mapas, projetos e cartas; na Classe 2 ficou elaboração projetos técnicos de engenharia e correção de desenhos em CAD (Desenho Assistido por Computador); a classe 3 refere-se às tomadas de decisão quanto a outorga de pedidos e análises de projetos contratados; e na classe 4 enquadraram-se os demais serviços rotineiros como elaboração de memorandos, ofícios, elaboração de orçamento e abertura de processos. Como resultado obteve a distribuição das atividades conforme apresentado na Figura 12.1.

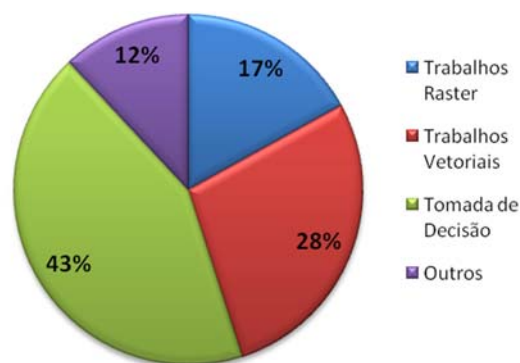


Figura 12.1. Gráfico de caracterização de atividades PROESG/SANESUL.

Essa proposição permite ao grupo de trabalho definir quais aspectos são mais relevantes na seleção do *software* de trabalho. A partir de então pode-se avaliar as ferramentas dos SIGs livres e gratuitos mais "populares", além de outros aspectos importantes deles como: o número de usuários/tutoriais; a interoperacionalidade de dados com outros *softwares* livres e comerciais; e a frequência de atualizações e suporte por parte dos desenvolvedores e da comunidade de usuários.

Outro aspecto a ser considerado é que os SIG livres estão cada vez mais "estáveis", e com interface mais receptiva e intuitiva aos usuários, representando uma alternativa a incorporação de geotecnologias na empresa. Cada sistema atende melhor à determinada questão, sendo necessária uma análise prévia mais minuciosa das necessidades da empresa para investir na geotecnologia em potencial, seja livre, gratuita ou proprietária.

## 12.2. Aplicação do banco SIG no combate a perdas em sistemas de abastecimento

Com vistas ao combate a perdas no sistema de abastecimento de água, Ribeiro (2013) efetuou a composição do banco SIG, com enfoque na espacialização dos serviços de reparo e manutenção na rede de água tratada.

Para composição do banco de dados SIG, realizaram-se levantamentos topográficos planialtimétricos coletando dados cadastrais a partir das poligonais de campo referentes ao sistema de esgoto existente, sistema de abastecimento de água existente, caixas de inspeção de água, esgoto, redes elétricas e telefônicas, alinhamentos prediais, vias pavimentadas, sarjetas e meio-fio, formações rochosas, talvegues, córregos, pontes, drenagem pluvial e altimetria. As estações de marcos de apoio foram medidas por rastreamento dos satélites com utilização de GPS no modo estático com utilização de receptores de precisão geodésica, ou seja, receptores de dupla frequência (código C/A e portadoras L1 e L2) e inseridas no *software* SIG em extensão de arquivo DXF.

Os dados de campo referente aos materiais das redes de abastecimento, diâmetros equivalentes, registros e descargas foram obtidos do sistema de cadastro da empresa de saneamento em estudo. As zonas de pressão foram importadas do EPANET (EPA, 2009). Observaram-se falhas de levantamento e caracterização de componentes mais antigos do sistema. Parte do SIG composto pode ser observado na Figura 12.2.

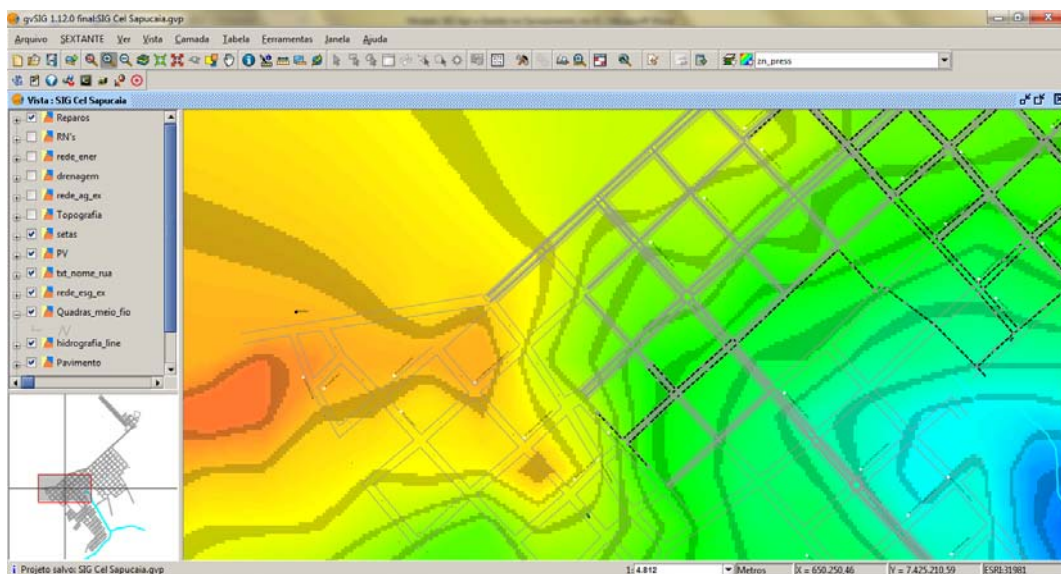


Figura 12.2. Vista SIG Coronel Sapucaia/MS.

Com o sistema modelado em ambiente computacional, nos anos de 2010 a 2013 efetuaram-se o registro dos serviços de manutenção em campo do sistema de abastecimento, caracterizando qual atividade realizada e sua localização geográfica. Tais dados foram posteriormente introduzidos no SIG (Figuras 12.3 e 12.4).



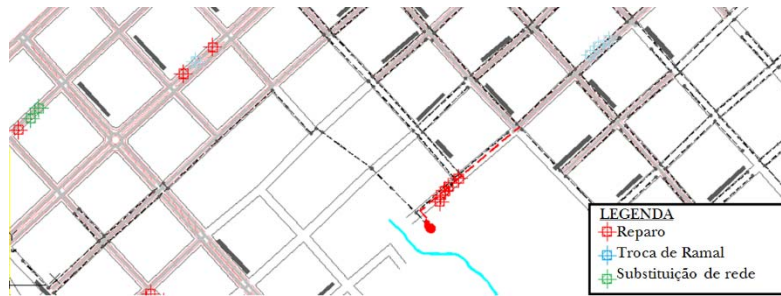


Figura 12.3. Vista em detalhe da distribuição dos serviços na rede de abastecimento de água no Coronel Sapucaia/MS.

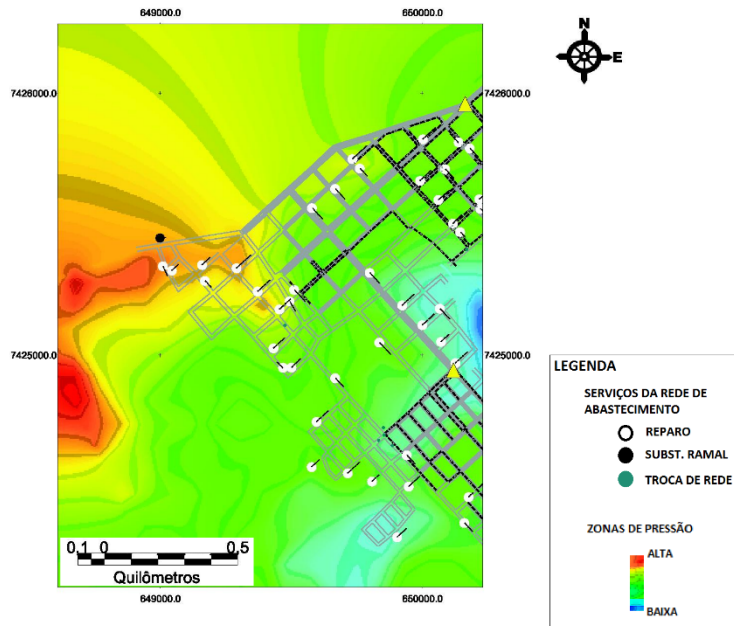


Figura 12.4. Mapa de localização dos serviços na rede de abastecimento tendo como plano de fundo as zonas de pressão na rede, em Coronel Sapucaia/MS no ano de 2010.

A análise dos serviços espacializados no ambiente do SIG, contextualizados no sistema de abastecimento, contemporizando zonas de pressão, tipo de material da rede, diâmetros etc., possibilitou a identificação dos padrões nas demandas dos trabalhos que levaram ao estabelecimento de rotinas de manutenção preventiva, em redes mais antigas de material mais vulnerável por exemplo, resultando na redução no índice de perda de água gradual na área de estudo.

A própria natureza da infraestrutura física do saneamento básico, com vida útil de vários anos, justifica a utilização de um banco de dados único, que contenha a caracterização física da mesma, bem como o histórico de ocorrências e manutenções executadas, de maneira georreferenciada, a fim de que tais informações possam ser analisadas juntamente com outras de interesse e de característica distintas, como ocorreu neste trabalho (DE CHIARA, 2011).

### 12.3. Aplicação do banco SIG na caracterização de contribuição pluvial parasitária

Outro exemplo da eficácia de aplicabilidade das geotecnologias livres em saneamento reside no estudo de contribuições pluviais parasitárias em redes públicas de coleta de esgoto doméstico. Ribeiro (2013) abrangeu a composição da base SIG no município de Três Lagoas/MS, com foco no mapeamento nos pontos de extravasamento da rede coletora de esgoto em vias públicas.

Ribeiro (2013) realizou levantamentos topográficos (com receptores de dupla frequência código C/A e portadoras L1 e L2, GPS RTK) planialtimétricos coletando dados cadastrais tais como: sistema de esgoto existente; sistema de abastecimento de água existente; caixas de inspeção de água e esgoto; redes elétricas e telefônicas; alinhamentos prediais; vias pavimentadas; sarjetas e meio-fio; formações rochosas, talwegues, córregos, pontes, drenagem pluvial e altimetria (Figura 12.5), posteriormente introduzidas em ambiente SIG em formato DWG (padrão CAD), posteriormente convertido a SHP.

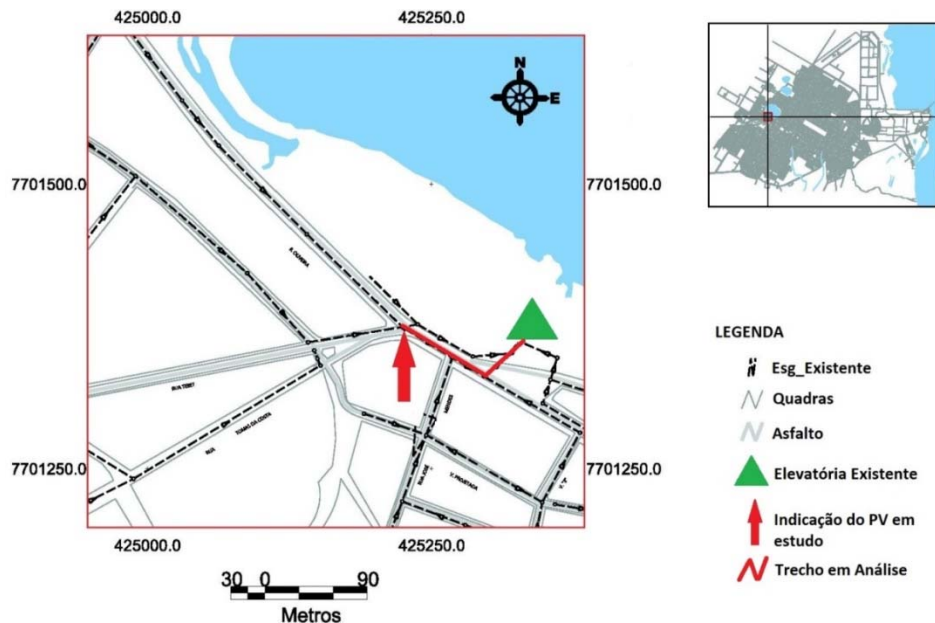


Figura 12.5. Localização de um dos trechos de tubulação coletora de esgoto em análise.

Nos pontos estudados de extravasamento dos poços de inspeção e visita da rede coletora de esgoto quando da ocorrência de eventos chuvosos, em constatação *in loco*, apresentavam se em condições de fluxo, em período de estiagem, em condições aparentemente normais. Com auxílio de informações altimétricas e do cadastramento dos consumidores do município, foi possível traçar a bacia de contribuição a montante dos poços de visita em estudo, e determinar a vazão teórica, em função do número de moradores componentes da mesma (Figura 12.6).

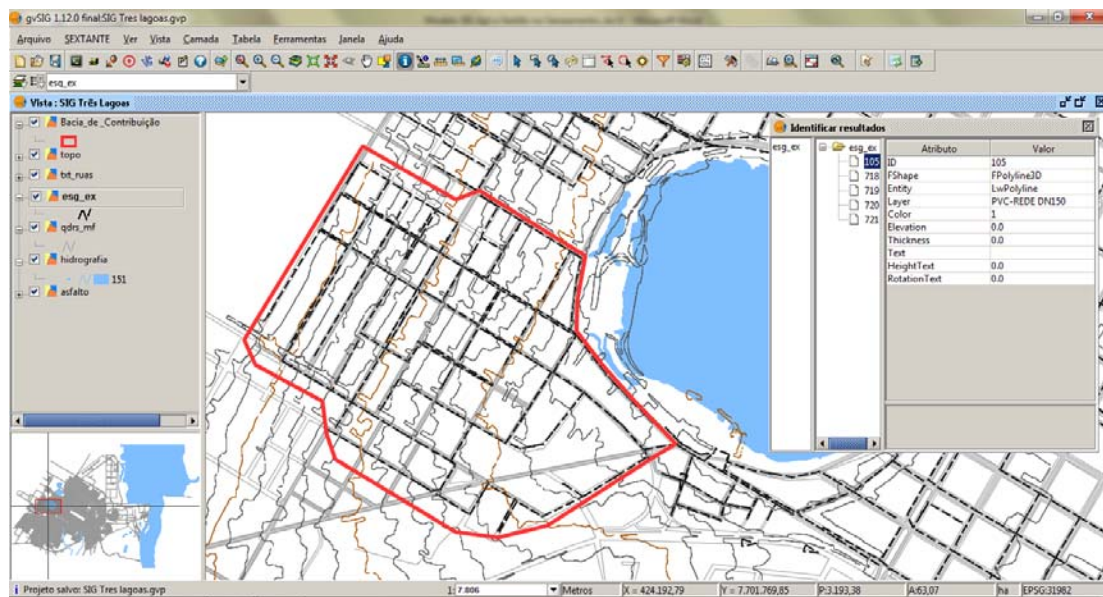


Figura 12.6. Vista do SIG Três Lagoas, com destaque para a bacia de contribuição delimitada.

Como os coletores de esgoto sanitário não estão dimensionados para contribuição pluvial, estes extravasam pelos poços de vista, escoado pelas guias e sarjetas, podendo veicular doenças de veiculação hídrica, como a esquistossomose, amebíase e giardíase, a quem tiver contato direto (TSUTIYA, 2011).

Com tal procedimento avaliou-se a bacia de contribuição a montante do ponto de transbordamento e verificou-se a capacidade de escoamento da rede coletora a jusante, de forma a determinar as prováveis causas do evento. Com a caracterização de consumo das residências especializadas, ficou facilitada a análise da quantidade de esgoto gerado em sua bacia de contribuição, descartando a hipótese de que o coletor não tem capacidade de escoamento do mesmo, elevando assim a teoria de que os transbordamentos ocorrerem devido às contribuições parasitárias.

#### 12.4. Aplicação de SIG na seleção de área para Estação de Tratamento de Esgoto

São vários os critérios para indicar áreas apropriadas à sua instalação de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário - ETE. Os principais aspectos que devem ser considerados para a locação devem ser: a disponibilidade de área; a sua localização em relação ao local de geração de esgotos; a sua distância e a capacidade de depuração do corpo receptor; a topografia da área; as características geológicas; a direção dos ventos predominantes; as condições de acesso; facilidade de aquisição do terreno (VON SPERLING, 2014).

O atendimento simultâneo aos diversos critérios é usualmente difícil, devendo ser dada prioridade, em cada caso, aos fatores de maior importância que devem ser observados segundo a realidade local (VON SPERLING, 1996; ORDÁS, 2012).

Nessa temática, os SIGs permitem a visualização de parâmetros em forma de cartas, possibilitando a operação matemática destas, utilizando-se dos mapas como parâmetros em equações de forma a auxiliar na tomada de decisão, procedimento conhecido como Álgebra de Mapas.

Ribeiro et al. (2018) aplicaram um SIG livre para a identificação de áreas propícias à instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), utilizando álgebra de mapas, onde os aspectos de seleção foram representados por cartas temáticas, em Coronel Sapucaia/MS (Figura 12.7). A técnica desenvolvida facilitou o mapeamento inicial para pré-seleção de áreas propícias ao empreendimento, caracterizando-se em uma ferramenta útil e de baixo custo para auxílio à tomada de decisão.

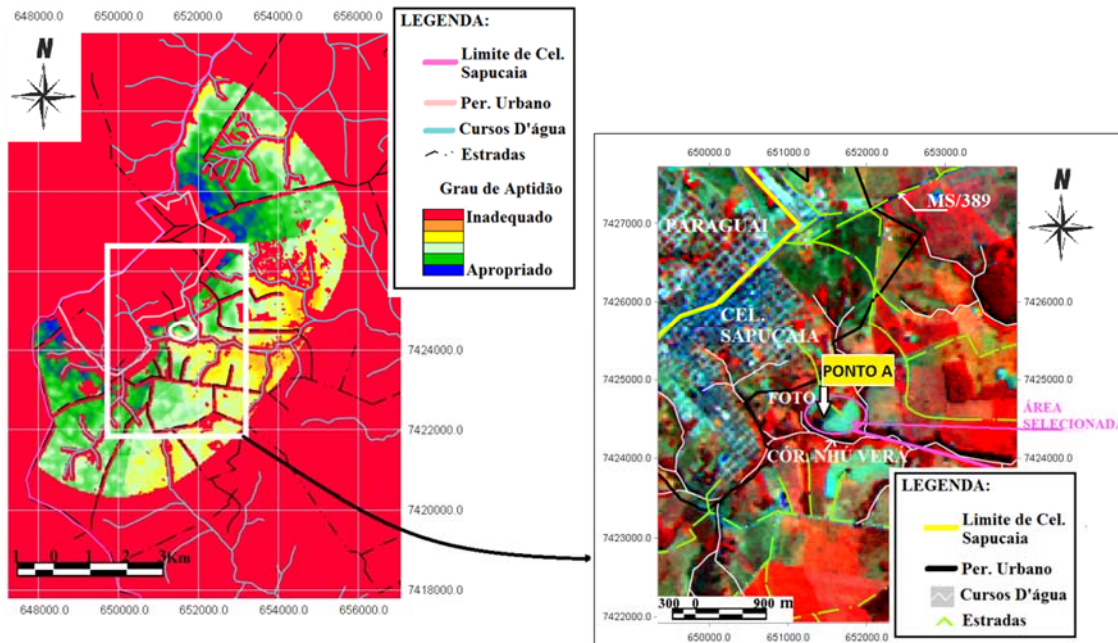


Figura 12.7. Mapa temático de áreas propícias à instalação de ETE, em Coronel Sapucaia/MS, (RIBEIRO et al., 2018).

Técnica análoga pode ser utilizada, por exemplo, para localização de área propícias à instalação de aterros sanitários e áreas de transbordo, na gestão de resíduos sólidos, determinação de área com maior risco à inundação, dentre outros usos. O uso das geociências auxilia na redução da subjetividade do processo decisório, com resultados extremamente acurados.

## 12.5. SIGs Livres e Gratuitos na Gestão de Dados e Modelagem Hidráulica

Considerando que as estruturas de saneamento têm, em média, horizontes de projeto na casa de duas a três décadas, em processo dinâmico de funcionamento, é de vital importância a manutenção das informações técnico-operacionais destes sistemas.

Um dos principais problemas no setor reside em falhas ou ausência de cadastro de sua base de dados de clientes e de seus principais ativos, as redes de abastecimento de água e de esgoto sanitário. As ferramentas presentes nos SIGs permitem a compilação das informações, estruturadas em banco de dados geoespacial, o que possibilita uma análise conjunta de informações essenciais ao planejamento das ações ao longo do tempo, além de facilitar sua constante atualização.



Um banco de dados robusto, permite tomadas de decisão baseados em critérios regionalizados. As informações ficam “ao alcance das mãos” de maneira dinâmica para obtenção de relatórios, tabelas e gráficos acerca do sistema em análise.

A integração da modelagem hidráulica nesses SIGs, incide na rapidez de compilação de dados essenciais à simulação e dimensionamento dos componentes dos sistemas de saneamento, utilizando parâmetros de projeto atuais.

Já se encontram disponíveis em plataforma de código aberto, algoritmos de simulação e dimensionamento de redes de água e esgoto, disponibilizadas como complementos em SIGs livre, como o QGIS e o gvSIG. Estes plugins permitem ampliar o leque de ferramentas dos softwares matrizes, além de possuir interoperacionalidade com softwares de uso comum no setor do saneamento, como softwares de desenho auxiliado por computador (CAD), EPANET, etc.

Em suma, os SIG Livres, mais do que nunca, apresentam-se como uma ferramenta robusta e com a possibilidade de atender as demandas do setor de saneamento, com foco em incrementar a eficiência no gerenciamento de serviços e informações, de maneira confiável e a custos financeiros reduzidos.

## 12.6. Referências

DE CHIARA, C. T. GIS e modelagem - gerenciando o sistema de coleta e transporte de esgoto. *In*: TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. (org.). **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro: ABES, 2011. p. 548.

EPA. EPANET. **Software that Models the Hydraulic and Water Quality Behavior of Water Distribution Piping Systems**. United States Environmental Protection Agency. 2009. Disponível em: <http://www2.epa.gov/water-research/epanet>. Acesso em: 26 jun. 2020.

ORDÁS, J. A. Aplicación de SIG en proyecto de gestión de redes hidráulicas en la República de Sudáfrica. **Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 33, n. 2, p. 77-89, mai/ago. 2012.

RIBEIRO, V. O. **Modelo de Sistema de Informação Geográfica Livre e Gratuito Aplicado à gestão no saneamento básico**. 2013. Tese (Doutorado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2013.

RIBEIRO, V. O.; CORREA, N. F.; CARVALHO, L. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Identificação de área para a instalação de Estação de Tratamento de Esgoto em Coronel Sapucaia (MS), utilizando álgebra de mapas. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 41, n. 2, p. 685-698, 2018.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico das Águas Residuárias**. 3. v. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996. 140 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.



# Índice de Suscetibilidade à Erosão Linear em Pastagem

**Bianca Souza de Oliveira<sup>1\*</sup>, Alesson Pires Maciel Guirra<sup>2</sup>, Jaíza Santos Motta<sup>3</sup>, Isabela Sampaio Carvalho<sup>4</sup>, Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues<sup>5</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Mestranda em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Mestra em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>5</sup>Mestrando em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>6</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

**\*Autor correspondente:**

Bianca Souza de Oliveira, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: biancasouzadeoliveirabso@gmail.com

## 13.1. Introdução

O solo ocupa grande parte do manto superficial do planeta, são constituídos por partículas minerais e orgânicas na forma sólida, líquida e gasosa com formas tridimensionais e dinâmicas, além de abrigarem matéria viva, podem também conter vegetação e são passíveis de interferência e alteração antrópica. O maior número de vazios gasosos ou poros no solo implica na maior infiltração de água, diminuindo o escoamento superficial, sendo a porosidade do solo diretamente influenciada pelo grau de agregação entre as partículas que formam pequenos torrões (VERHAEGEN, 1984). Já a cimentação das partículas proporciona maior resistência às gotas de chuva e enxurradas, principais causadoras de desagregação do solo. A composição do solo é um aspecto importante na identificação do seu potencial erosivo, de acordo com suas frações de areia, silte e argila. Solos arenosos apresentam condições que facilitam sua desagregação, sendo assim mais propensos à erosão. Solos argilosos são mais aptos à compactação mecânica, característica que contribui para o escoamento superficial e transporte de sedimentos. Ademais, a erosão hídrica é um processo de degradação do solo facilitado pela ação antrópica devido ao uso inadequado e a falta de manejo (PANACHUKI et al., 2006). Fatores como chuvas concentradas em curtos períodos, solos friáveis (partículas pouco agregadas) e com baixa concentração de matéria orgânica, fazem com que o solo seja mais suscetível à erosão (MACHADO et al., 2006). Além disso, são fatores que afetam a capacidade produtiva do solo com maior intensidade, gerando impactos nas áreas adjacentes, como perda de solo, assoreamento e contaminação por defensivos agrícolas (tóxicos).

No Brasil, a água é o principal agente causador da perda de solo, por isso, o estudo aborda a erosão hídrica. Este processo erosivo ocorre seguindo uma sequência de três eventos caracterizados como desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo.

A erosão hídrica linear ocorre através da concentração do escoamento hídrico superficial, ou seja, ocorre devido à concentração das linhas de fluxo da água sobre o terreno,

acontecimento que resulta em cortes na superfície do solo, podendo evoluir de sulco para ravina e posteriormente formação de voçoroca (SALOMÃO, 1999). A recuperação da área atingida por processos erosivos deve considerar o controle dos fatores que influenciam a erosão da área à montante da erosão e em seu entorno, um processo que demanda esforço de longo prazo para recuperação, envolvendo custos elevados quando o problema já está em estágio avançado.

O sensoriamento remoto é a obtenção de informações de imagens ou dados de algo que está distante do sensor que coleta a amostra (PARANHOS FILHO et al., 2016). Desenvolver uma ferramenta que auxilie na determinação de áreas suscetíveis à formação de erosões lineares a partir de técnicas de sensoriamento remoto é também uma alternativa para identificação de áreas mais predispostas às perdas de solo e nutrientes. Identificadas estas áreas é possível adotar medidas de controle e de recuperação preventivamente. Sendo assim, aqui propomos uma rotina para a elaboração de um índice predictor de erosões em pastagem, denominado de ISELP (Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem).

## 13.2. Área de Estudo

A área de estudo encontra-se na zona rural no interior da bacia hidrográfica do ribeirão Moquém no Município de Paraíso das Águas, o qual se localiza na região norte do Estado de Mato Grosso do Sul, compreendendo uma área territorial de aproximadamente 5.061,43 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019) (Figura 13.1). A bacia contempla uma área de 197 km<sup>2</sup> aproximadamente, abriga os córregos Bráis, Buriti, Moquém e o Ribeirão Moquém que dá nome à bacia de 4<sup>a</sup> Ordem (STRAHLER, 1957), caracterizando-se por cobertura vegetal predominante de pastagens.

Trabalhos realizados em campo em algumas regiões da bacia (Figura 13.2) evidenciaram suas características. Em campo, verificou-se que esta área é intensamente afetada por processos erosivos, tendo o uso relacionado a criação de bovinos de forma extensiva em pastagens, associada a florestas plantadas (eucaliptais e seringais). A agropecuária é uma das principais atividades do município, representando cerca de 22,41% (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2013). A bacia caracteriza-se também por áreas que apresentam alta declividade na superfície do terreno.

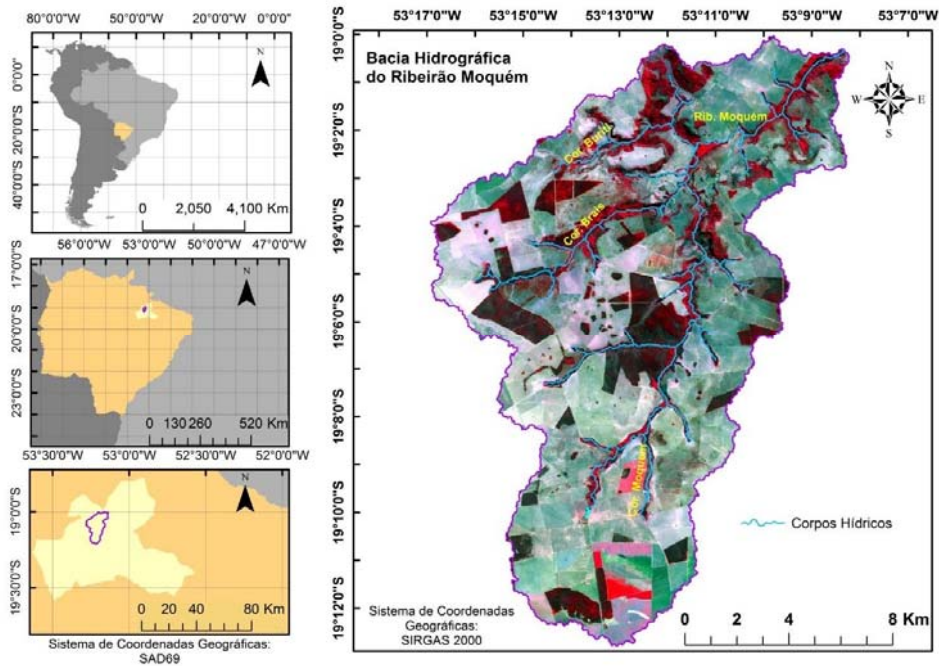


Figura 13.1. A área de estudo localiza-se ao nordeste de Mato Grosso do Sul, no Município de Paraíso das Águas e compreende a bacia hidrográfica do ribeirão Moquém (197 km<sup>2</sup>). Compõem essa bacia os córregos Bráis, Buriti, Moquém e o ribeirão Moquém (curso d'água principal). Na figura tem-se uma imagem Sentinel-2B, sensor MSI, em composição falsa-cor R8G4B3 (USGS, 2018a, b) cuja cor vermelha indica vegetação densa e/ou fotossinteticamente ativa, o verde indica a presença de vegetação rasteira e/ou fragmentada e o branco tendendo ao rosa evidencia solo exposto e/ou áreas desprovidas de vegetação.

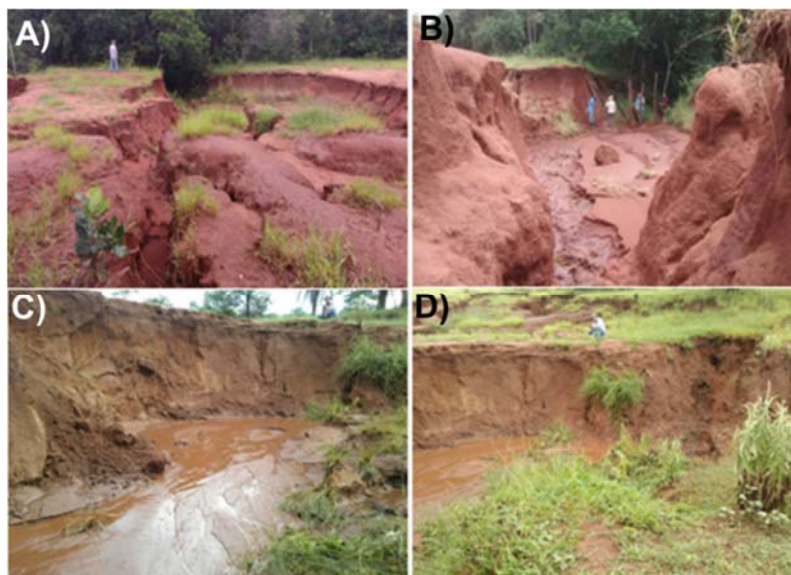


Figura 13.2. Processos erosivos do solo em região coberta por pastagens com acesso livre ao gado com declividade moderada. As imagens ilustram o tipo de erosão denominado voçoroca, uma erosão profunda que atingiu o nível d'água. Em (A) e (B) observam-se fendas separando blocos de latossolo vermelho com textura areno-silto-argilosa em estágio avançado de erosão com perda lateral gradual de material friável para o fundo do canal erosivo. Em (C) e (D) tem-se voçorocamento em plena expansão em fundo de vale confinado por drenagem de primeira ordem e desenvolvido sobre neossolos quartzarênicos, onde o material é facilmente desagregado e o cenário de baixa cobertura vegetal e de alta intensidade pluvial na estação úmida favorece a propagação de novas frentes de erosão.

## 13.3. Material e Métodos

### 13.3.1. Aquisição e Processamento de Dados

Foram adquiridos dados do radar ALOS PALSAR de 2011 (ASF, 2011), com resolução espacial de 12,5 m; imagens do satélite Sentinel-2B, sensor MSI, de 29 de agosto de 2018, com resolução espacial de 10 m (USGS, 2018a, b), além de imagens do Google Earth. O modelo de superfície do radar ALOS PALSAR foi obtido através do portal de dados Vertex do ASF (*Alaska Satellite Facility*) e a imagem do satélite Sentinel-2B, sensor MSI (*Multi Spectral Instrument*), foi obtida pelo site do Earth Explorer do USGS (*United States Geological Survey*) (USGS, 2018a, b). As imagens do Google Earth foram utilizadas no *software* QGIS 2.18.19 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018) através do *plugin Quick MapServices* (NEXTGIS, 2019) para extrair os eixos de erosões lineares.

Dados vetoriais também foram utilizados, gerados pelos autores a partir do processamento das imagens adquiridas referente à área de estudo. Fazem parte dos dados vetoriais os arquivos que contém a drenagem, as sub-bacias hidrográficas, os eixos de erosões, a delimitação do Município de Paraíso das Águas e do Estado de Mato Grosso do Sul.

### 13.3.2. Extração de Drenagem e Delimitação da Bacia Hidrográfica de Interesse

Para delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Moquém foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) do radar ALOS PALSAR (ASF, 2011). As drenagens e sub-bacias hidrográficas do Município de Paraíso das Águas foram extraídas com o auxílio do *software* TerraView 4.2.2 (INPE, 2010) utilizando a caixa de ferramentas do TerraHidro. As drenagens extraídas do MDE auxiliaram na extração das sub-bacias hidrográficas.

Os dados gerados foram editados no *software* QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018), onde as drenagens foram recortadas em conjunto ao limite das sub-bacias. Correções no contorno das drenagens fizeram-se necessárias, tendo em vista que estas são geradas por método semiautomático pelo *software* de modelagem hidrológica e tendem a gerar quebras que contornam os pixels do raster. O SIG ao extrair drenagens pelo MDE não diferencia cursos d'água intermitentes ou perenes, o primeiro diz respeito aos corpos d'água que desaparecem em períodos de estiagem e o segundo são aqueles que exfiltram<sup>1</sup> (1ocorrência de água subterrânea quando esta aflora de forma concentrada ou difusa incorporando a rede de drenagem na superfície) certo volume de água constante durante todo o ano hidrológico.

Para o desenvolvimento do trabalho interessavam apenas os cursos d'água perenes, por isso, a imagem Sentinel-2B da época de seca no Município de Paraíso das Águas também foi utilizada para corrigir as drenagens e auxiliar na demarcação dos limites das sub-bacias hidrográficas contidas no ribeirão do Moquém. Estas correções são exclusões de vetores que representavam cursos d'água intermitentes, onde a vegetação e os meandros dos corpos d'água foram realçados na composição R8G4B3. Para estabelecer a hierarquia de drenagem foi utilizado o método de Strahler (1957), identificando às ordens dos cursos d'água, assim como a determinação do curso d'água principal, que dá nome a bacia hidrográfica.

### 13.3.3. Extração de Eixos de Erosões

Para obter os eixos das erosões foram usadas imagens do Google, sendo o acesso a estas imagens obtidas a partir do *plugin QuickMap Services* (NEXTGIS, 2019) do *software QGIS* (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018). Lopes (2009), após realizar testes, obteve valores que demonstraram a fidelidade geométrica das imagens Google Earth para ponto, linha e área. Considerando esse estudo, foram usados vetores do tipo linha para mapear os eixos de erosões e as vias de circulação da Bacia Hidrográfica do ribeirão Moquém.

Para o vetor do tipo linha, representante dos eixos de erosões, foi calculado o comprimento absoluto e a soma total dos comprimentos. Determinou-se, também, o comprimento relativo, que representa a porcentagem do comprimento de cada eixo de erosões em relação à soma do comprimento total. O cálculo dos comprimentos absoluto e relativo foi utilizado para verificar como se dá a distribuição das principais erosões ao longo da área de estudo.

A vetorização das erosões possibilitou calcular a densidade de eixos de erosão/m<sup>2</sup>, para isso foi empregado o mapa de densidade de pontos, dada a geração do ponto centroide ao longo de cada linha definidora do eixo de erosão.

A densidade de pontos é um método estatístico não paramétrico que estima a função de densidade de probabilidade e que empiricamente conta o número de observações dentro de um determinado limite ou intervalo, podendo ser considerado a espacialização de um histograma. A área para qual foi gerado o mapa de densidade de pontos foi delimitado por *buffers* com raios iguais a 30, 50, 100, 200 e 300 metros, tais distâncias foram escolhidas para verificar a tendência de diminuição das ocorrências de erosões ao longo da distância do centro da erosão.

Para determinar a direção preferencial dos eixos de erosões em relação ao quadrante, calculou-se o azimute, ângulo formado entre o eixo Norte e o alinhamento do eixo da erosão (variação de 0 a 90° NE e 0 a 90° NW). O cálculo do azimute foi feito com o auxílio da calculadora de campo do *software QGIS* (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018). A verificação da direção preferencial dos eixos das erosões se fez necessária para avaliar a influência antrópica na formação destas erosões.

### 13.3.4. Estatística Zonal dos Eixos de Erosão

Os valores que representam como os eixos de erosões se comportam no entorno do anel de cada um dos *buffers* (30, 50, 100, 200 e 300 m), foram obtidos pelas medidas de tendência central e de variância (média e desvio padrão). Para obter esses valores foi utilizada a ferramenta de estatística zonal do QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018). Os dados obtidos foram exportados do QGIS diretamente para a planilha Excel® (MICROSOFT OFFICE, 2007) utilizando a ferramenta *XYTools*.

### 13.3.5. Declividade do Relevo

Usando a ferramenta análise do MDS do SIG QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018) e o MDE do radar ALOS PALSAR (ASF, 2011), obteve-se um arquivo de grade contendo a declividade em graus do terreno.



### 13.3.6. Índices de Sensoriamento Remoto

A ferramenta calculadora raster do *software* QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018), foi utilizada para realizar a álgebra de mapas de todos os índices, sendo que para cada um dos índices, um conjunto de bandas diferentes da imagem do satélite Sentinel-2B foi necessário.

### 13.3.7. Índice de Solo Exposto (BSI)

O BSI (*Bare Soil Index* – Índice de Solo Exposto) foi proposto por Chen et al. (2004), com o intuito de permitir a identificação do solo exposto em imagens por meio de sensoriamento remoto. Para calculá-lo, são consideradas as bandas SWIR, *Red*, NIR e *Blue* aplicadas a uma equação de diferença normalizada, variando entre -1 e 1 (Equação 13.1).

$$BSI = \frac{(SWIR+Red)-(NIR+Blue)}{(SWIR+Red)+(NIR+Blue)} \quad \text{Equação 13.1}$$

### 15.3.8. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) (ROUSE et al., 1974) possibilita caracterizar os parâmetros biofísicos da vegetação e apresenta valor normalizado que varia de -1 a 1. É calculado através da Equação 13.2, o qual utiliza as bandas NIR e *Red*.

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad \text{Equação 13.2}$$

### 13.3.9. Índice de Água por diferença Normalizada (NDWI)

O NDWI (*Normalized Difference Water Index* – Índice de Diferença Normalizada da Água) (MCFEETERS, 1996) permite caracterizar o limiar entre água e terra, reduzindo a influência da vegetação na caracterização da umidade do solo. O cálculo do NDWI utiliza as bandas espectrais *Green* e NIR, aplicadas a uma equação de diferença normalizada, variando de -1 a 1 assim como o NDVI (Equação 13.3).

$$NDWI = \frac{(Green-NIR)}{(Green+NIR)} \quad \text{Equação 13.3}$$

### 13.3.10. Índice de Impermeabilização de Superfícies (SWI)

O SWI (*Surface Waterproffing Index* – Índice de Impermeabilização de Superfícies), desenvolvido por Pereira et al. (2018), realça as áreas em que a superfície do solo é impermeabilizada. Para gerá-lo utiliza-se o quadrado da diferença entre os índices NDVI e NDWI, cujo valor varia de 0 a 4, sendo os valores tendendo a 0 os mais impermeáveis e tendendo a 4 os menos impermeáveis (Equação 13.4).

$$SWI = (NDVI - NDWI)^2 \quad \text{Equação 13.4}$$

### 13.3.11. Estatística Zonal dos Índices de Sensoriamento Remoto

Os valores referentes ao comportamento da declividade e dos índices (BSI, NDVI, NWDI e SWI) foram obtidos pelas medidas de tendência central e de variância (média e desvio padrão) entorno do anel de cada um dos *buffers* (30, 50, 100, 200 e 300 m), os mesmos utilizados na obtenção das densidades de eixos de erosão linear. Para obter esses valores foi utilizada a ferramenta de Estatística Zonal do *software* QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018). Os dados obtidos foram exportados do QGIS diretamente para a planilha Excel® (MICROSOFT OFFICE, 2007) utilizando a ferramenta *XYTools*.

### 13.3.12. Regressão Linear Simples

Para determinar a equação que melhor representa a suscetibilidade à formação de erosões lineares foi empregado o método da regressão linear simples. Primeiramente, foi gerado o coeficiente de determinação entre a declividade e os índices (BSI, NDVI, NWDI e SWI), variáveis preditivas, e a densidade de eixos de erosões, variável resposta. O objetivo era encontrar os índices que apresentavam a maior coeficiente de determinação com a densidade de eixos de erosões. Para a declividade e para cada índice calculado foi gerado um gráfico contendo a equação de densidade de Eixos de Erosões (dEE) informando o coeficiente de determinação de um modelo linear generalizado ( $r^2$ ), em que a variável X era a independente (índices e declividade) e Y a variável dependente (dEE). Após verificar quais variáveis apresentavam maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) com a densidade dos eixos de erosões, foram feitos testes para determinar a equação com o melhor ajuste, considerando a combinação dos índices. Para todos os testes consideramos o valor de  $p < 0,05$  e intervalo de confiança de 95% ( $1-\alpha$ ), suficiente para descartar a hipótese nula, a qual diz que a variável preditora não está associada ou relacionada à mudança na variável resposta.

### 13.3.13. Determinação do Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem

Com o auxílio da ferramenta calculadora raster do QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018), foram testadas algumas expressões na calculadora raster combinando os índices (BSI e SWI). Utilizando as médias dos índices BSI e SWI (BSIm e SWIm) foram feitos testes considerando a diferença normalizada (Expressão 13.1), soma (Expressão 13.2) e diferença elevada ao quadrado (Expressão 13.3).

$$\frac{(BSIm - SWIm)}{(BSIm + SWIm)} \quad \text{Expressão 13.1}$$

$$BSIm + SWIm \quad \text{Expressão 13.2}$$

$$(BSIm - SWIm)^2 \quad \text{Expressão 13.3}$$

As comparações entre os índices gerados e a imagem do satélite Sentinel 2B na composição falsa cor R8G4B3, que realça a vegetação e permite distinguir pastagem e solo exposto, viabilizou a determinação do melhor índice de suscetibilidade a erosão linear em pastagem. Esta composição foi utilizada para verificar a correspondência entre o uso e

ocupação do solo com a classificação obtida por média e erro médio amostral obtido pela estatística zonal de cada índice no entorno de 10 metros de *buffers* dos eixos de erosão linear e comparada.

### 13.3.14. Classificação dos Intervalos de Suscetibilidade

Para classificar os intervalos de suscetibilidade foi utilizado o método de classes por quartil, sendo divididos em 1º, 2º e 3º quartis. Esta classificação é uma forma de qualificar a suscetibilidade levando em consideração o uso e ocupação de cada área, ponderando os valores em baixa, média e alta erosão linear.

Tendo em vista que o índice aqui explorado apresentou distribuição não paramétrica de seus valores no entorno dos *buffers* (30, 50, 100, 200 e 300 m) de cada eixo de erosão, a forma encontrada para qualificar as suscetibilidades foi observar o histograma dos dados de cada um dos índices, onde o melhor ajuste de dispersão dos valores foi observado na amplitude interquartilica entre o 1º quartil (q1) e o 3º quartil, o qual fornece 50% dos valores de todo conjunto amostrado. Quartis são medidas de posição, de uma amostra ordenada em ordem crescente que foi dividida em 100 partes, que indicam o percentual de 25 (1º quartil), 50 (2º quartil ou mediana) e 75 (3º quartil) dos elementos da amostra que são menores ou iguais a este percentual. Para sintetizar a metodologia descrita acima foi elaborado um fluxograma (Figura 13.3).

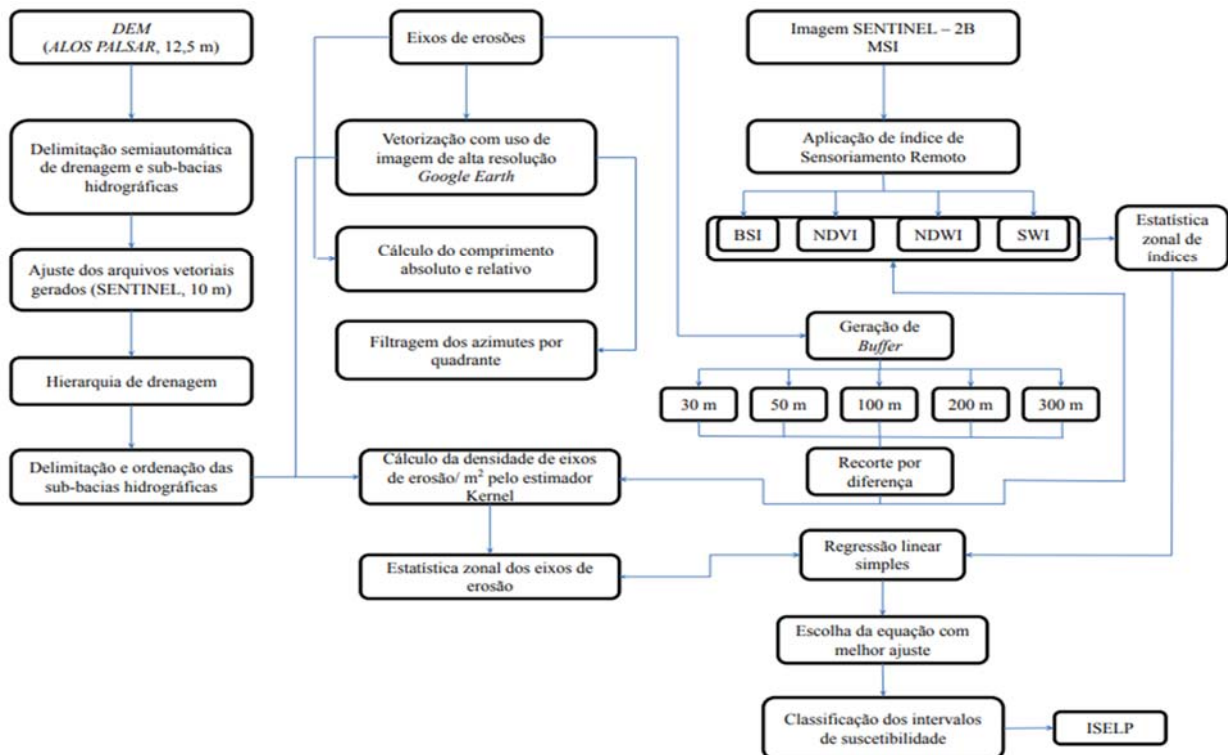


Figura 13.3. Fluxograma do método para obtenção do Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem (ISELP).

13.4. Resultados e Discussões

13.4.1. Densidade de Erosões por Área

O arquivo vetorial de eixos de erosão, obtido a partir da imagem *Google Satellite*, foi utilizado para gerar o mapa de densidade de linhas no *software QGIS*. Os pixels presentes nos *buffers* indicam a intensidade de agregação, que nesse caso, representam a densidade de eixos de erosão/m<sup>2</sup> (Figura 13.4).

A escala de ocorrência de erosões é representada pela variação de cores no interior dos *buffers*. As cores variam entre verde, amarelo e vermelho, que identificam áreas de baixa, média e alta densidade de erosões, respectivamente.

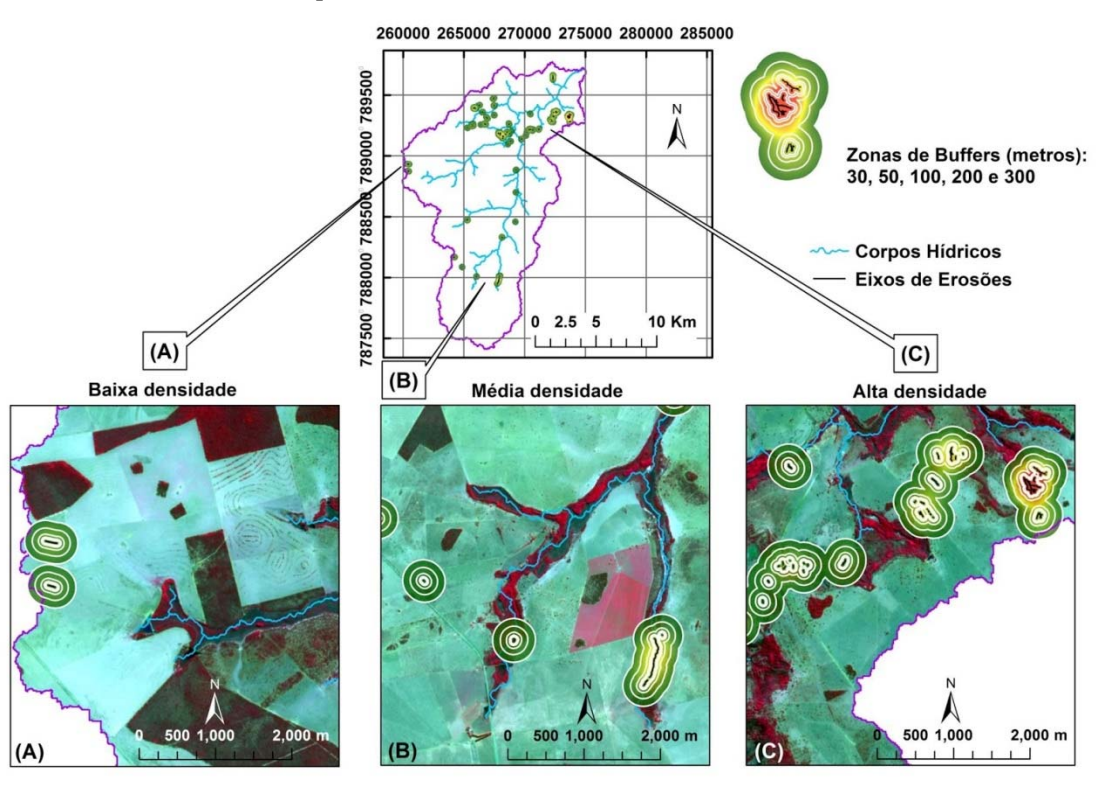


Figura 13.4. Mapa de densidade de eixos de erosão. As letras A, B e C do mapa representam recortes da área de estudo, as linhas pretas indicam os eixos de erosões extraídos da imagem *Google Satellite* e os *buffers* de 30, 50, 100, 200 e 300 m são identificados pelas linhas brancas. O recorte A representa uma área cuja densidade de erosões é baixa, identificando-se poucas ocorrências de erosões, já no recorte B identifica-se uma densidade média de erosões, por fim, observando o recorte C, identificam-se vários *buffers* próximos uns dos outros, caracterizando uma alta densidade de erosões. As cores que preenchem os anéis dos *buffers* indicam a maior ou menor ocorrência de erosões, considerando-se a distância a partir do centroide do eixo da erosão, a intensidade da cor vermelha indica alta densidade de erosões na área, já a intensidade da cor verde indica baixa densidade.

13.4.2. Fator Natural ou Antrópico

A associação das características observadas em campo com as práticas inadequadas de plantio e criação de gado colaboram para a perda de solo por processos erosivos, visto que os

processos de compactação e desagregação das partículas de solo, quando associados a fluxos concentrados de água e declividade elevada, apresentam um alto potencial erosivo.

O modo encontrado para identificar o tipo de formação de erosão, natural ou antrópica, baseou-se na comparação entre as direções preferenciais das drenagens e as direções preferenciais das erosões. A comparação realizada levou em consideração o azimute do eixo das erosões e a direção preferencial da drenagem de cada sub-bacia (Figura 13.5).

Estes resultados contribuem para a interpretação de que as erosões se propagam preferencialmente de acordo com a disposição das drenagens de 1ª e 2ª ordem, sendo, portanto, cabeceiras de drenagem onde ocorrem nascentes dos afluentes dos cursos de água principais (córregos Bráis, Moquém, Buriti e Ribeirão Moquém). Nesse sentido há uma predisposição natural para incidência de erosões no terreno, a qual pode estar sendo induzida pela variação do nível freático e pelo escoamento superficial concentrado nestas porções do relevo onde predominam vertentes côncavas e retilíneas. As práticas de uso e ocupação do solo, atualmente, podem ser causas secundárias, no sentido que aceleraram o processo de desencadeamento de novas frentes erosivas ou evolução das pré-existentes.

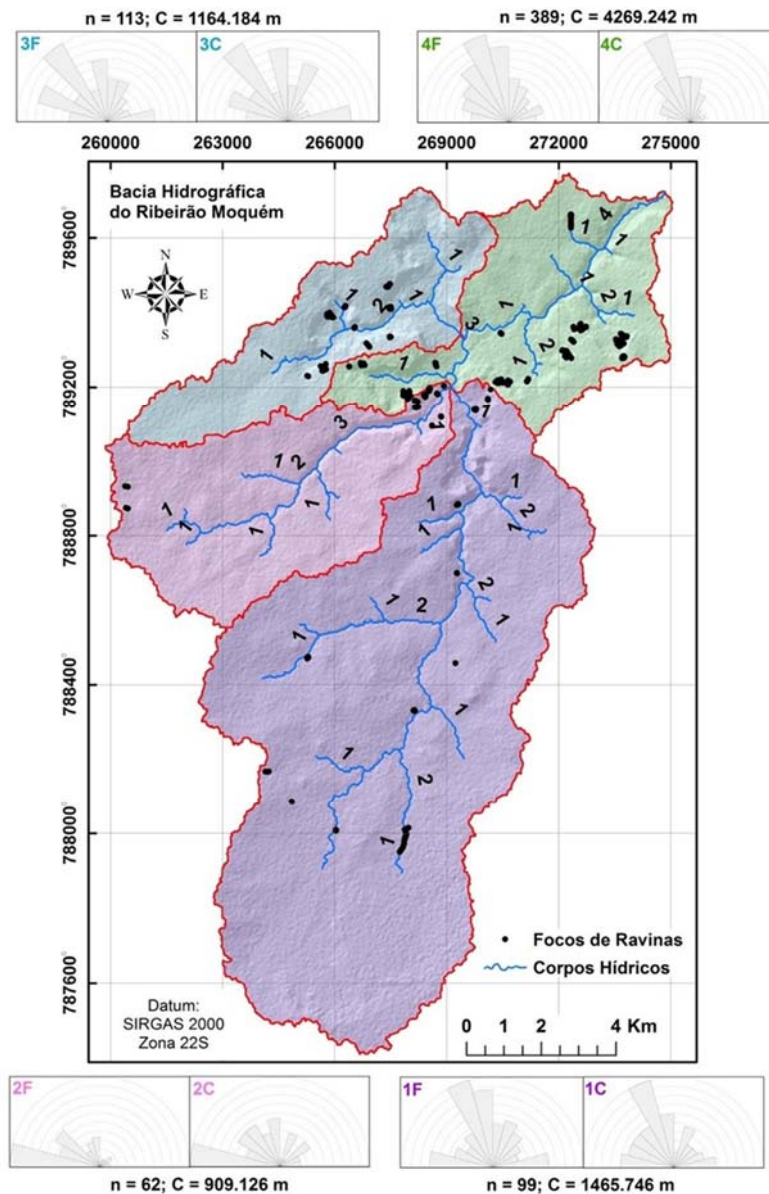




Figura 13.5. Azimute, indicação das direções preferenciais das erosões. Os histogramas 1F, 1C, 2F, 2C, 3F e 3C referem-se às sub-bacias hidrográficas de 3ª ordem (STRAHLER, 1957) e 4F e 4C (é o histograma da parte baixa do Ribeirão Moquém). A letra C indica a direção preferencial dos eixos de erosão levando-se em consideração o peso do comprimento destes eixos (m) e a F indica o azimute preferencial dos eixos de erosão sem considerar o peso do comprimento destes. A letra n indica a quantidade de eixos de erosão demarcados em cada bacia hidrográfica. Os histogramas de cada sub-bacia estão separados por cores, sendo que a cor lilás representa a Sub-Bacia do Córrego Moquém, a cor rosa a Sub-Bacia do Córrego Braís e a cor azul claro a Sub-Bacia do Córrego Buriti, todas de 3ª ordem, a cor verde claro representa a sub-bacia de 4ª ordem do Ribeirão Moquém que consequentemente dá nome a união entre estas bacias hidrográficas. A relação de direção de azimute e interferência antrópica se dá quando as direções preferenciais de uma erosão, que geralmente estão associadas à direção das drenagens, estão dispostas em direção contrária a estas ou ainda perpendiculares.

### 13.4.3. Variáveis Predictoras versus Densidade de Eixos de Erosão

Analisando os gráficos gerados (Figuras 13.6, 13.7, 13.8, 13.9 e 13.10), verificou-se que as variáveis que obtiveram maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) com a densidade dos eixos de erosões foram NDWI, BSI, SWI, NDVI e declividade, respectivamente. Isto evidencia a relação entre a formação de erosões lineares e o significado da resposta espectral dos índices aplicados, bem como um dos principais fatores morfométricos. A representação de cada gráfico está relacionada ao comportamento da variável em relação à densidade média de eixos de erosões/m<sup>2</sup>, levando-se em consideração os *buffers* (30, 50, 100, 200, e 300 m) que foram feitos no entorno de cada um dos eixos de erosão cartografados.

Com 5% de significância, há evidências de que o NDWI médio é relevante para explicar a densidade de eixos de erosão (dEE) em 89%, apresentando uma relação diretamente proporcional. Isto pode estar relacionado ao nível freático raso próximo as erosões e a migração de nascentes ou novas exfiltrações de nascentes no período chuvoso ou no final dele com a saturação do aquífero freático. O intervalo ótimo onde há eixos de erosão se concentra entre -0,37 à -0,34, apresentando uma amplitude de 0,03 (Figura 13.6).

O BSI médio também é favorável a explicar a densidade de eixos de erosão, considerando um nível de confiança de 95%, sendo variáveis diretamente proporcionais. Este índice consegue explicar a dEE em até 88%, o que mostra forte dependência de erosões com áreas desmatadas, com baixa cobertura vegetal ou com a propagação de erosões em áreas previamente já degradadas (Figura 13.7).

Houve praticamente a mesma resposta para o SWI médio (88%), porém com a diferença do comportamento entre estas variáveis ser inversamente proporcional. Isto é explicado pelo fato de que os valores mais próximos de 0 são os mais impermeáveis e os mais próximos a 4 são os mais permeáveis, o que de certa forma já era esperado para desempenhar mecanismos propícios a instalação ou evolução de processos erosivos. Para esse índice o intervalo ótimo de ocorrência de erosões está entre 0,4 e 0,5, com amplitude de 0,1, esse intervalo pode denunciar maior potencial para a deflagração de novos processos erosivos em pastagem, considerando somente este índice (Figura 13.8).

O NDVI médio também conseguiu explicar satisfatoriamente o aparecimento de eixos de erosão, porém numa taxa menor de 85%, a um nível de confiança de 95%. O intervalo que apresenta a maior dEE está entre 0,25 e 0,30 e amplitude de 0,05, o que é típico de superfícies

com cobertura vegetal dispersa, degradada ou com baixa capacidade fotossintética por área (Figura 13.9).

A declividade média (%) apresenta coeficiente de determinação de apenas 19% e o valor de p maior do que 0,5 assumimos que para esta área a declividade média não é uma variável relevante para prever erosões lineares (Figura 13.10).

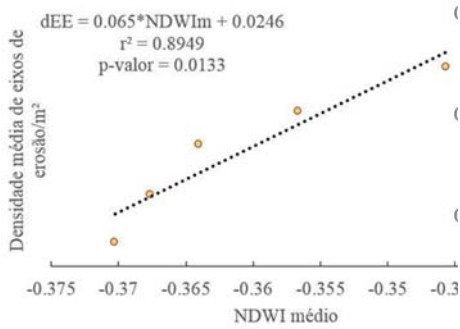


Figura 13.6. dEE versus NDWI<sub>m</sub>.

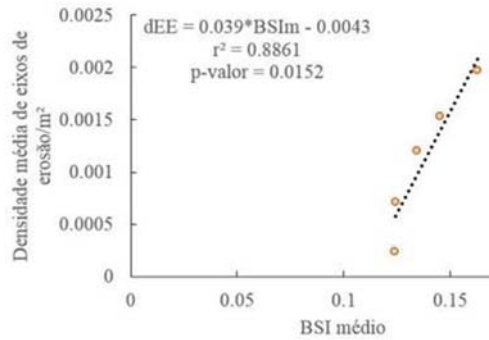


Figura 13.7. dEE versus BSI<sub>m</sub>.

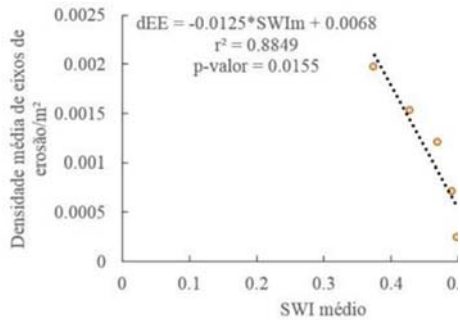


Figura 13.8. dEE versus SWI<sub>m</sub>.

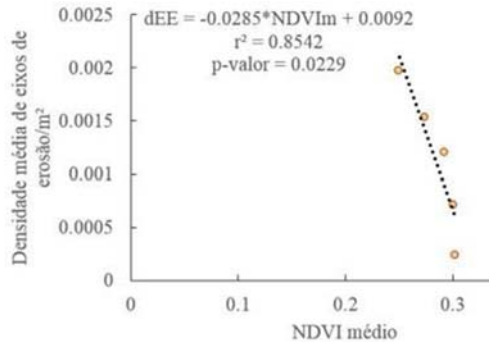


Figura 13.9. dEE versus NDVI<sub>m</sub>.

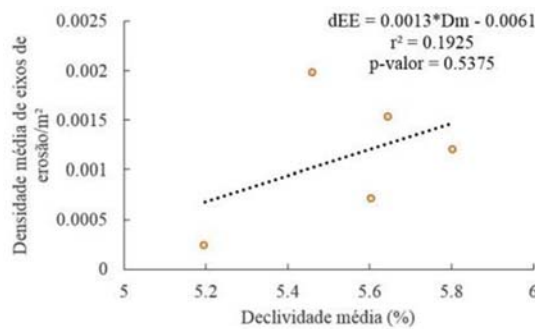


Figura 13.10. dEE versus Declividade média (%)

Para desenvolver uma equação que combinasse as variáveis mais representativas da suscetibilidade de formação de erosões lineares na área de estudo, foram escolhidos os índices que obtiveram melhor coeficiente de determinação com a densidade de eixos de erosões/m<sup>2</sup> (dEE). Dentre os três mais representativos (NDWI – 89%; BSI – 88%; SWI – 88%), optou-se pelo BSI (*Bare Soil Index*) e pelo SWI (*Surface Waterproffing Index*), pois o índice SWI é uma combinação dos índices (NDVI e NDWI), a combinação dos índices (NDWI e SWI) estaria dando maior peso ao NDWI e conseqüentemente a banda do infravermelho próximo.

### 13.4.4. Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem

A partir da escolha dos índices (BSI e SWI) foram geradas algumas combinações de equações agregadas ao método de regressão linear simples (Figuras 13.10, 13.11, 13.12) para verificar qual a melhor equação previsora de erosões lineares.

A Equação 13.11 representa a reta de ajuste com a diferença normalizada entre o BSI com o SWI, onde são observados uma relação diretamente proporcional e um intervalo de restrito entre -0,6 e -0,4 com maior incidência de erosões em -0,4 e amplitude de 0,2. Essa combinação pode explicar até 86% das erosões lineares com nível de significância de 95% (Figura 13.11).

A Equação 13.12, a qual trata da soma entre os índices BSI e SWI foi capaz de explicar cerca de 2% melhor a dEE em relação a equação anterior, com coeficiente de determinação de 0,88, a um nível de significância de 5%. O intervalo em que se concentram eixos de erosão está entre 0,54 e 0,62, com uma amplitude de 0,08 (Figura 13.12).

A Equação 13.13 representa o ajuste da reta considerando a diferença quadrática entre o BSI e o SWI para prever a dEE. Com essa combinação é possível prever em 91% áreas mais suscetíveis à incisão ou à evolução de novos processos erosivos, a um nível de confiança de 95%. O intervalo em que se concentram eixos de erosão está entre 0,14 e 0,05, com uma amplitude de 0,09 (Figura 13.13), sendo que o intervalo entre 0,05 e 0,08 são os que melhor representam áreas mais predispostas à incidência de erosões lineares pela Equação 13.7  $((BSI_m - SWI_m)^2)$ .

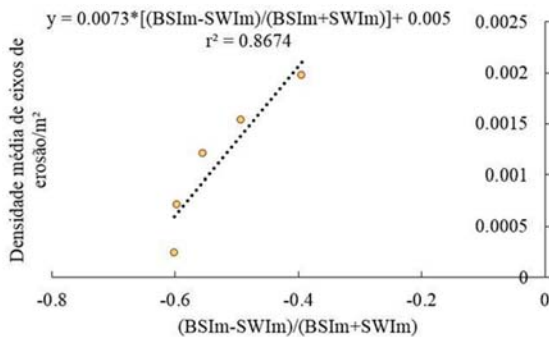


Figura 13.11. dEE versus Equação 13.5.

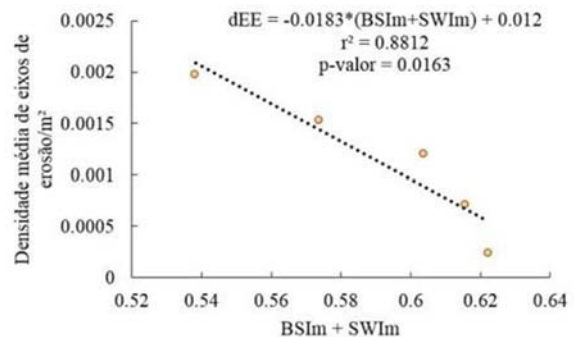


Figura 13.12. dEE versus Equação 13.6.

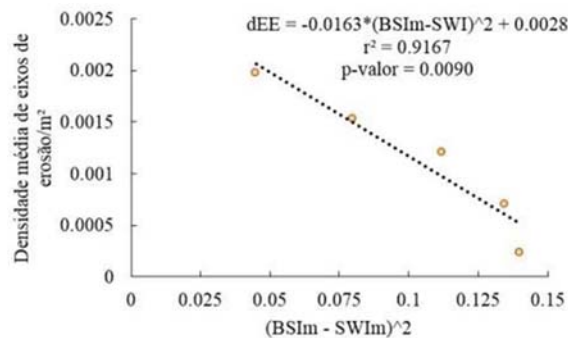


Figura 13.13. dEE versus Equação 13.7.

A equação da diferença quadrática entre o BSI e o SWI foi a que apresentou melhor ajuste da reta, realçando as áreas suscetíveis a formação de erosões lineares de maneira geral, sendo

denominado Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem (ISELP) (Equação 13.8). Já a equação da Figura 13.13 representa o Índice de Suscetibilidade a Erosão Linear em Pastagem ajustado a área de estudo, denominado ISELP<sub>ajustado</sub> (Equação 13.9).

$$\text{ISELP} = (\text{BSI}_m - \text{SWI}_m)^2 \quad (\text{Equação 13.8})$$

$$\text{ISELP}_{\text{ajustado}} = (-0,0163 * (\text{BSI}_m - \text{SWI}_m)^2 + 0,0028) \quad (\text{Equação 13.9})$$

Levando em consideração que os índices multiespectrais apresentam comportamento normal e que dentro do *buffer* de 10 metros a estatística de densidade de erosões também, houve a alternativa de se usar o coeficiente de determinação como técnica de previsão. Dessa forma, a extração dos valores de mínimo, máximo, média, desvio padrão e erro padrão (n=61), classificaram-se as áreas mais suscetíveis, considerando a média ± erro padrão médio amostral, como um critério para definir o intervalo de maior probabilidade de incidência de erosão linear (Tabela 13.2).

Tabela 13.2. Intervalos de classificação para o ISELP e o ISELP ajustado arredondados para a quarta casa decima e extraídos em torno dos buffers de 10 metros delimitados a partir dos eixos de erosão linear (total = 663), dissolvidos e unidos (total = 61).

ISELP						
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Classificação	
0,0001	0,7478	0,1305	0,1702	0,0218	0,1087	0,1523
ISELP ajustado						
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Classificação	
-0,0094	0,0028	0,0007	0,0028	0,0004	0,0003	0,0010

O ISELP aplicado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Moquém variou entre o mínimo de  $1.4211 \cdot 10^{-14}$  (onde consideramos 0,0000 para efeitos de classificação) ao máximo de 6.5081, prevalecendo valores abaixo da média de 0,3225, onde valores próximos a zero correspondem a coberturas de pastagem e solo exposto, enquanto que valores acima da média configuram áreas com maior cobertura vegetal ou com maior taxa fotossintética (Figura 13.14-A1).

O ISELP ajustado aplicado a este mesmo limite variou entre o mínimo de -0,1033 ao máximo de 0,0028, com média em torno de -0,0024. Valores acima da média coincidem com áreas de pastagem e solo exposto, enquanto valores abaixo da média são áreas com maior cobertura vegetal e mais fotossinteticamente ativas (Figura 13.14-A2).

Conforme a classificação referida na Tabela 13.2, as Figura 13.14-A2 e 13.14-B2 demonstram o resultado obtido para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Moquém, onde se pode verificar elevada coincidência na sobreposição entre as áreas demarcadas para cada um dos índices. O ISELP ajustado em comparação ao ISELP apresenta um desvio padrão muito menor e conseqüentemente um intervalo de classificação mais restritivo. Para aplicá-los em outras unidades territoriais, sugerimos extrair o valor da estatística zonal no entorno de pelo menos 15 eixos de erosão linear com o *buffer* de 10 metros e considerar a média e o erro padrão médio amostral dado pelos índices, a partir daí ajustar a classificação para este domínio espacial específico.

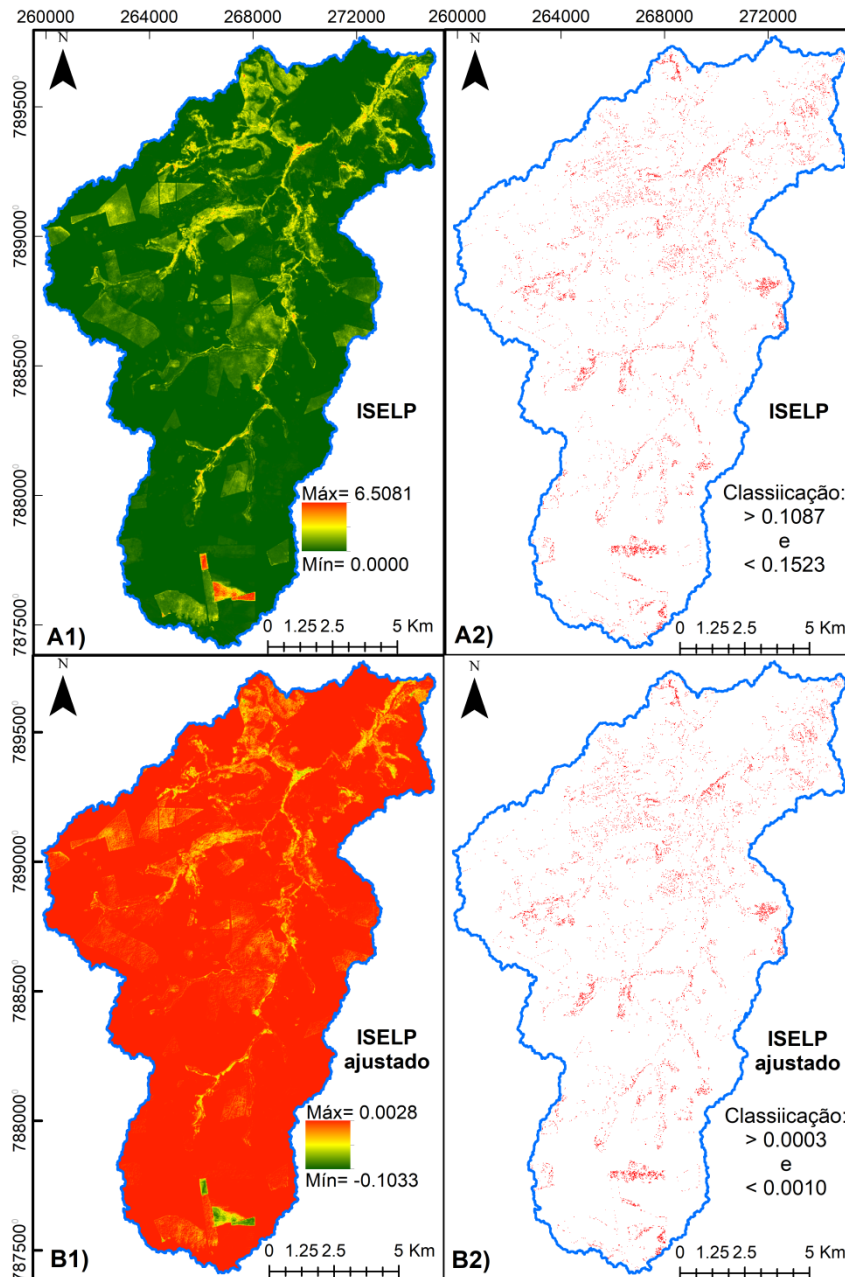


Figura 13.14. ISELP (A1) e ISELP ajustado (B1) aplicados à bacia hidrográfica do ribeirão Moquém em Paraíso das Águas (MS) - com destaque em vermelho (A2 e B2) para as regiões mais favoráveis à incidência de erosões lineares de acordo com a classificação dos valores obtidos para cada um dos índices apresentando elevada coincidência de áreas.

Verificamos que as áreas que apresentam solo exposto são mais compactadas e conseqüentemente há maior impermeabilização, bem como áreas de pastagem e estradas não pavimentadas afetadas por este processo foram identificadas como áreas de alta suscetibilidade a erosão linear (cor vermelha na Figura 13.14 e 13.15). Enquanto as áreas em que a vegetação é densa ou apresentam solos com boa capacidade de infiltração devido a menor impermeabilização são classificadas como áreas de baixa suscetibilidade a erosão linear (cor branca), evidenciando a efetividade deste índice. Solos arenosos com domínios mais porosos e,



portanto, bem drenados, mesmo quando expostos, mostraram-se como áreas de baixa suscetibilidade e eventos de erosão hídrica.

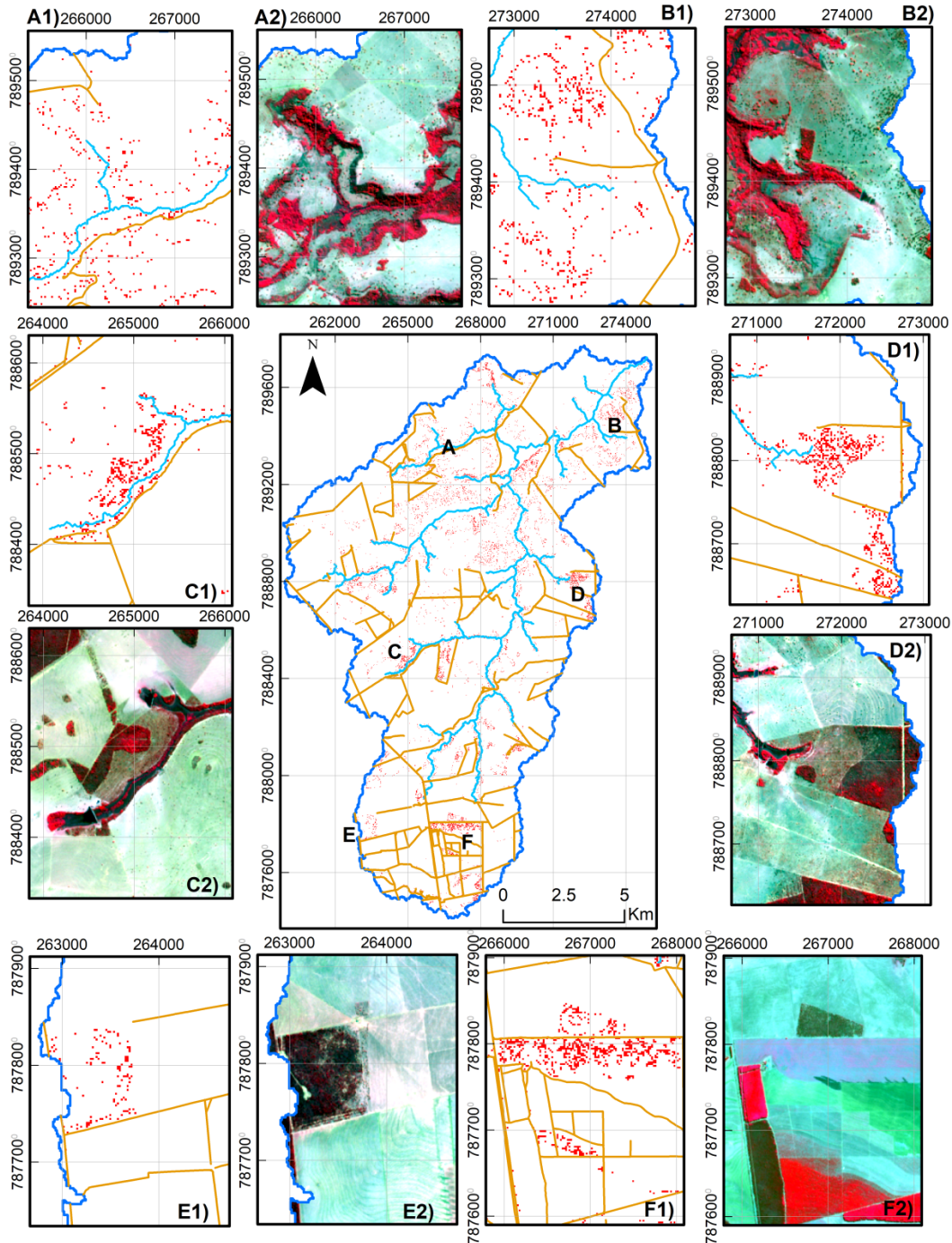


Figura 13.15. Várias áreas suscetíveis à erosão em pastagem, próxima a drenagem (em azul claro) e estrada vicinal (em marrom) ao longo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Moquém (em azul escuro). Em (A), evidenciado por A1 e A2, nota-se que, quanto mais próximo à drenagem, maior a umidade do solo, o que tende a ser resposta do baixo potencial de infiltração em porções de solo com cobertura vegetal muito rasa ou muito fragmentada. Em (B), demonstrado por B1 e B2, observa-se que a cobertura vegetal densa e de maior porte foi capaz de restringir à suscetibilidade a erosão no entorno da cabeceira de drenagem. Em (C), apontado em C1 e C2; em (D), destacado por D1 e D2 e em (E), visualizado por E1 e E2 evidenciam-se a supressão e a fragmentação da vegetação de médio e grande porte como fatores facilitadores para imposição de novos processos erosivos ao expor partes de solo no entorno de áreas que concentram maior umidade, favorecendo sua impermeabilização. E, por fim,

em (F), apresentados em F1 e F2, tem-se a alta umidade em latossolo vermelho com cobertura vegetal rasteira e fragmentada próximos a estradas vicinais como áreas suscetíveis a eventos de erosão hídrica.

### 13.5. Conclusões

Esse trabalho é um exemplo de utilização de índices multiespectrais de sensoriamento remoto para prever processos naturais de perda de solos, agregando informações estatísticas. Os resultados aqui obtidos pelo ISELP podem ser utilizados para compor modelos de suscetibilidade a erosão, substituindo as cartas de uso e ocupação ou cobertura da terra, sobretudo naqueles modelos baseados em princípios empíricos da ecodinâmica. Nestes modelos os temas uso e ocupação ou cobertura da terra são ponderados com coeficientes (pesos) dado o conhecimento do próprio pesquisador sobre determinada região ou baseado em literatura específica sobre o tema. Neste trabalho o ISELP apresenta coeficientes calibrados de acordo com regras de regressão linear e com o comportamento estatístico da combinação entre índices multiespectrais (BSI e SWI), os quais são aqui identificados como potenciais previsores de áreas mais propícias a instalação ou expansão de erosões. Sendo assim, o diagnóstico da suscetibilidade do ambiente aos fenômenos erosivos lineares poderá ser menos subjetivo ao adotarem o ISELP como medida preditiva da umidade e impermeabilização em pastagens, indicando áreas prioritárias para implantação de medidas protetivas para minimizar perdas de solo. Sugerimos a utilização deste índice para outras regiões que enfrentam problemas com erosões lineares para verificar sua aplicabilidade.

### 13.6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGTA/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS) e ao PGRN/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS). Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Os autores agradecem também ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1) e pela bolsa de mestrado de Bianca Souza de Oliveira (CNPq Processo 133920/2020-8). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 13.7. Referências

- ASF. Alaska Satellite Facilitate. **DEM from Alos Palsar Image**. Sensor MSI. Alaska USA, ASF. 2011. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- CHEN, W.; LIU, L.; ZHANG, C.; WANG, J.; WANG, J.; PAN, Y. Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images. *In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS)*, 4., 2004, Anchorage, Alaska, USA. **Proceedings [...]**. Anchorage, 2004. p. 3379-3382.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Território e Ambiente**. 2019. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jul. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TERRAVIEW**. Versão 4.2.2. São José dos Campos, São Paulo, 2010. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/terraview](http://www.dpi.inpe.br/terraview). Acesso em: 28 ago. 2018.
- LOPES, E. E. **Proposta Metodológica para Validação de Imagens de Alta Resolução do Google Earth para a Produção de Mapas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.
- MACHADO, R. L.; DE RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 63 p.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p 1425-1432, 1996.
- MICROSOFT OFFICE. **Excel**. Sistema operativo Microsoft Windows. 2007.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **RAIS – Relação Anual de Informações Sociais**. 2013. Disponível em: <[www.rais.gov.br](http://www.rais.gov.br)>. Acesso em: nov. 2018.
- NEXTGIS. **QuickMap Services Plugin**. Versão 0.19.11.1. 2019. Disponível em: <https://nextgis.com/blog/quickmapservices/>. Acesso em: ago. 2018.
- PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; DE CARVALHO, D. F.; URSHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.
- PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MARCATO JR, J.; CATALANI, T. G. T. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2016. 383 p.
- PEREIRA, L. E.; de OLIVEIRA, E. F.; da ROSA OLIVEIRA, M.; AMORIM, G. M.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Methods to model impermeable URBAN areas using soil moisture characteristics. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, n. 4, p. 12480, 2018.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 2.18.19 Las Palmas. 2018. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, 3., 1974, Greenbelt, Maryland, EUA. **Proceedings [...]**. Greenbelt, 1994. p. 309-317.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. (org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-267.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

USGS. United States Geological Survey. **Imagens Sentinel-2B**. Sensor MSI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 9, 10, 11, 12. Identificação 22KZV. De 29 de agosto de 2018. 2018a.

USGS. United States Geological Survey. **Imagens Sentinel-2B**. Sensor MSI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 9, 10, 11, 12. Identificação 21KZU. De 29 de agosto de 2018. 2018b.

VERHAEGEN, T. H. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study base on rain fall simulation experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 9, n. 6, p. 499-507, 1984.

# Análise Hidrológica por Meio de Modelos Digitais

Jaíza Santos Motta<sup>1\*</sup>, Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues<sup>2</sup>, Alesson Pires Maciel Guirra<sup>3</sup>,  
Alisson André Ribeiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Mestrando em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Doutor em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Jaíza Santos Motta, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: ea.jsmotta@gmail.com

Estudos ambientais e hidrográficos passaram a considerar a bacia hidrográfica como unidade espacial de planejamento através do Plano Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 – BRASIL, 1997), uma vez que a água é um elemento vital para a sobrevivência de todas as espécies e atualmente é considerada como um bem vulnerável, limitado, logo dotada de valor econômico.

No gerenciamento de bacias hidrográficas observa-se a crescente utilização das tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) para extração, processamento, análise e modelagem de dados de informações espaciais, dentre os quais se destaca os parâmetros morfológicos e morfométricos do relevo. O relevo é um dos mais importantes componentes que regulam a distribuição do fluxo de água e energia na bacia hidrográfica, e sua representação em modelos digitais podem ser extraídas na forma de modelo digital de superfície (MDS), no formato matricial (GRID) e no formato TIN (*Triangulated Irregular Network*). Os GRIDS são muito mais utilizados pela simplicidade dos algoritmos em que suas análises são fundamentadas.

Existem várias formas para a obtenção de dados capazes de gerar um modelo da superfície da Terra, como a digitalização de mapas, levantamento em campo com GPS junto a ferramentas topográficas, aviões, satélites, como o conhecido SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* e o modelo estereoscópicos por meio de medidas fotogramétricas adquiridas por imagens de RPA – Aeronaves Remotamente Pilotadas. Para fins de demonstração, utilizaremos este último exemplo para verificar as potencialidades de utilização desse produto.

A fotogrametria utiliza imagens que contenham sobreposições e píxeis em comum dentre as cenas, os pontos homólogos (GAMARRA, 2020). Esses pontos, quando captados em cenas diferentes, permitem a inserção de ângulos distintos de um mesmo pixel, dispendo de parâmetro de referência para a unificação das imagens e geração do modelo estereoscópico, pois cenas captadas em lugares diferentes permitem extrair informações de profundidade, e, por conseguinte, no final do processo de elaboração dos modelos digitais, permitem a aquisição de informações planialtimétricas.



Nas últimas duas décadas, com base em modelos digitais de elevação, vários algoritmos foram usados para extrair as características morfológicas da superfície da Terra, com ênfase no *design* de bacias hidrográficas e no padrão de redes de drenagem existentes. Da mesma forma, o detalhamento da inclinação do terreno, expressa na forma de declividade dada tanto em porcentagem (%), quanto em graus ( $^{\circ}$ ), se torna possível graças a um sistema de referências geográficas aliado a informações de pontos cotados, tornado viável a geração de mapas topográficos com o uso de métodos interpoladores. Comparadas aos procedimentos manuais, as vantagens da automação são: maior eficiência e confiabilidade do processo, repetibilidade dos resultados e possibilidade de armazenar e compartilhar dados digitais.

Porém, os processos são tão automatizados que os usuários desconhecem como os algoritmos processam os dados, logo, o que acontece por de trás das interfaces dos *softwares* de geoprocessamento é uma incógnita. Então, esse capítulo apresentará alguns exemplos de produtos gerados a partir de um MDT de aeronave remotamente pilotada e desmitificará os processos de delimitação de bacia hidrográfica em SIG.

## 24.1. Modelos Digitais de Superfície e de Elevação

Ressaltam-se alguns conceitos importantes de modelos digitais, como os conceitos de Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 14.1), os quais são todos denominados como MDE na esfera comercial, porém não trazem as mesmas informações do relevo. MDT é a representação numérica ou matemática da distribuição de um dado espacial de forma digital, atribuindo características e fenômenos no que traduz em manifestações de uma superfície real. Logo, no Modelo Digital de Terreno - MDT são atribuídas coordenadas x, y e z, sendo z o parâmetro a ser modelado em relação aos outros (INPE, 2019).

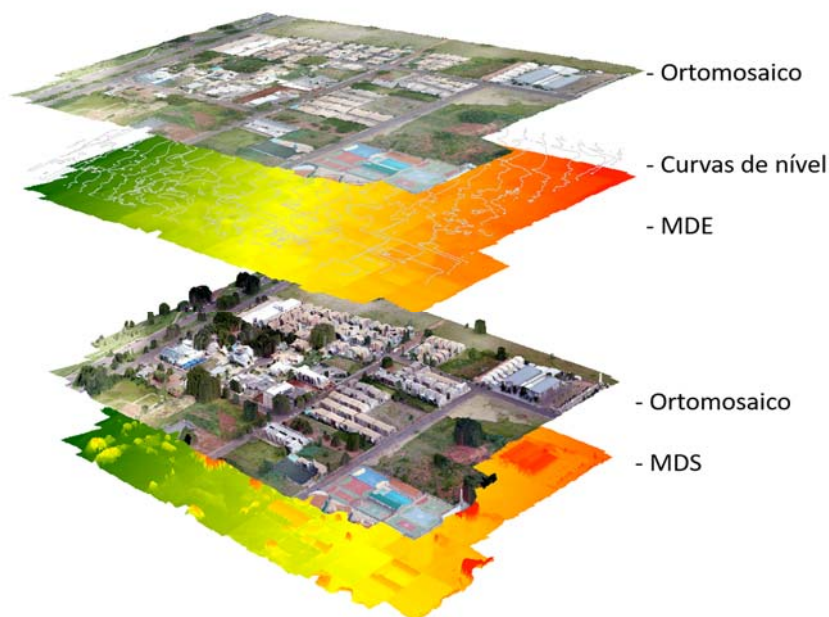


Figura 14.1. Representação 3D dos Modelos Digitais de Elevação e Modelos Digitais de Superfície.

Quando o terreno representado no modelo contém todos os objetos sobre o relevo, ele é denominado de MDS. O MDS pode influenciar desfavoravelmente uma avaliação ou análise hidrológica, pois a vegetação ou estrutura saliente podem proporcionar falsos picos, conseqüentemente alteração nos segmentos de fluxo e de acúmulo hidrológico e sedimentos (CORREA et al., 2017). O MDE desconsidera os objetos sobre o relevo, sendo mais adequado para a delimitação de bacias hidrográficas, pois ele representa exclusivamente as informações topográficas da superfície (PARANHOS FILHO et al., 2016), porém há casos em que ocorre ruídos na imagem, que podem ser corrigidos por técnicas de reamostragem. A Figura 14.2 demonstra um exemplo de MDS e MDE obtidos de um ortomosaico de imagens de aeronave remotamente pilotada.

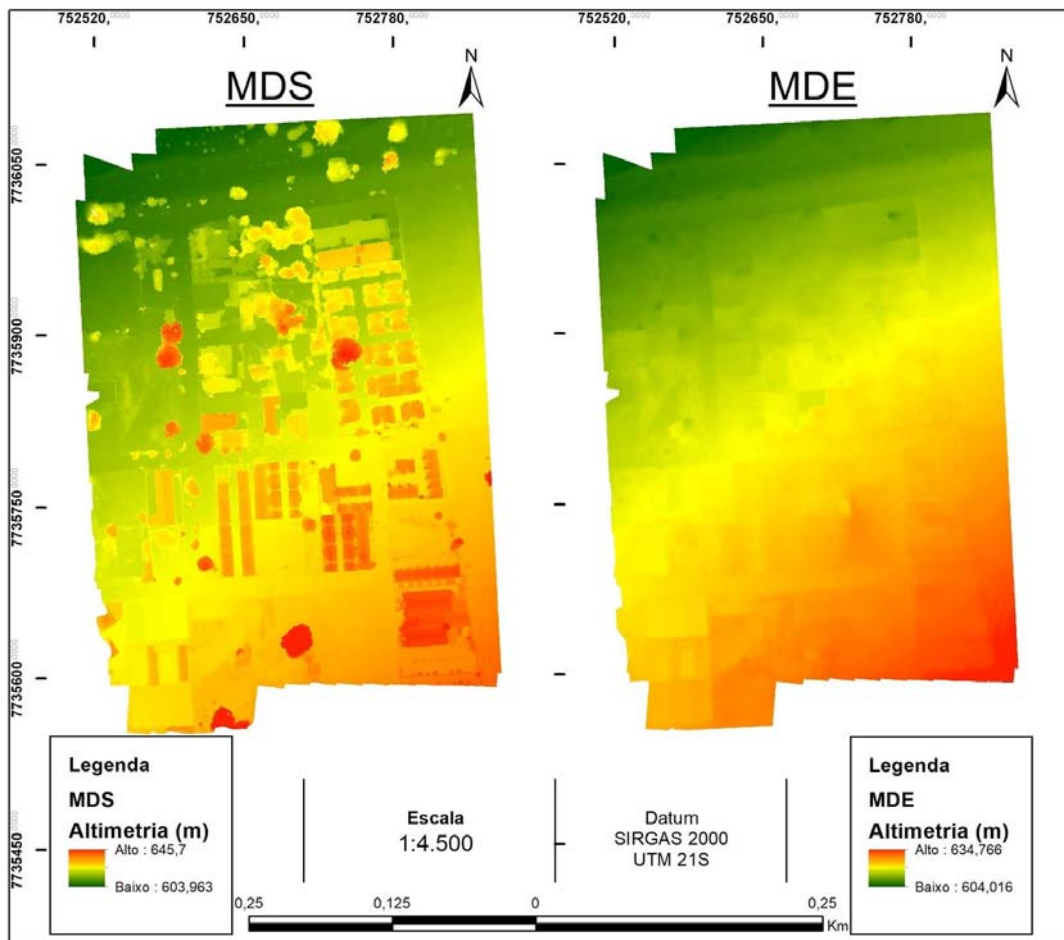


Figura 14.2. Demonstração de um MDS e um MDE. Para obtenção desses modelos foi aplicado filtro de superfície em um modelo estereoscópico, representado em 2D.

Os modelos são representados por grades com faces de polígonos retangulares ou irregulares a partir de um TIN (*Triangular Irregular Network*) (PARANHOS FILHO et al., 2016). A modelagem por TINs (Figura 14.3) permite a informação atribuída a morfologia de descontinuidade do espaço, constituída por formas de crista e vales, contribuindo para realçar a representatividade da superfície e das linhas de drenagem (INPE, 2019). A grade irregular preserva as propriedades de forma do espaço, reduzindo a existência desnecessárias de malhas da grade regular.

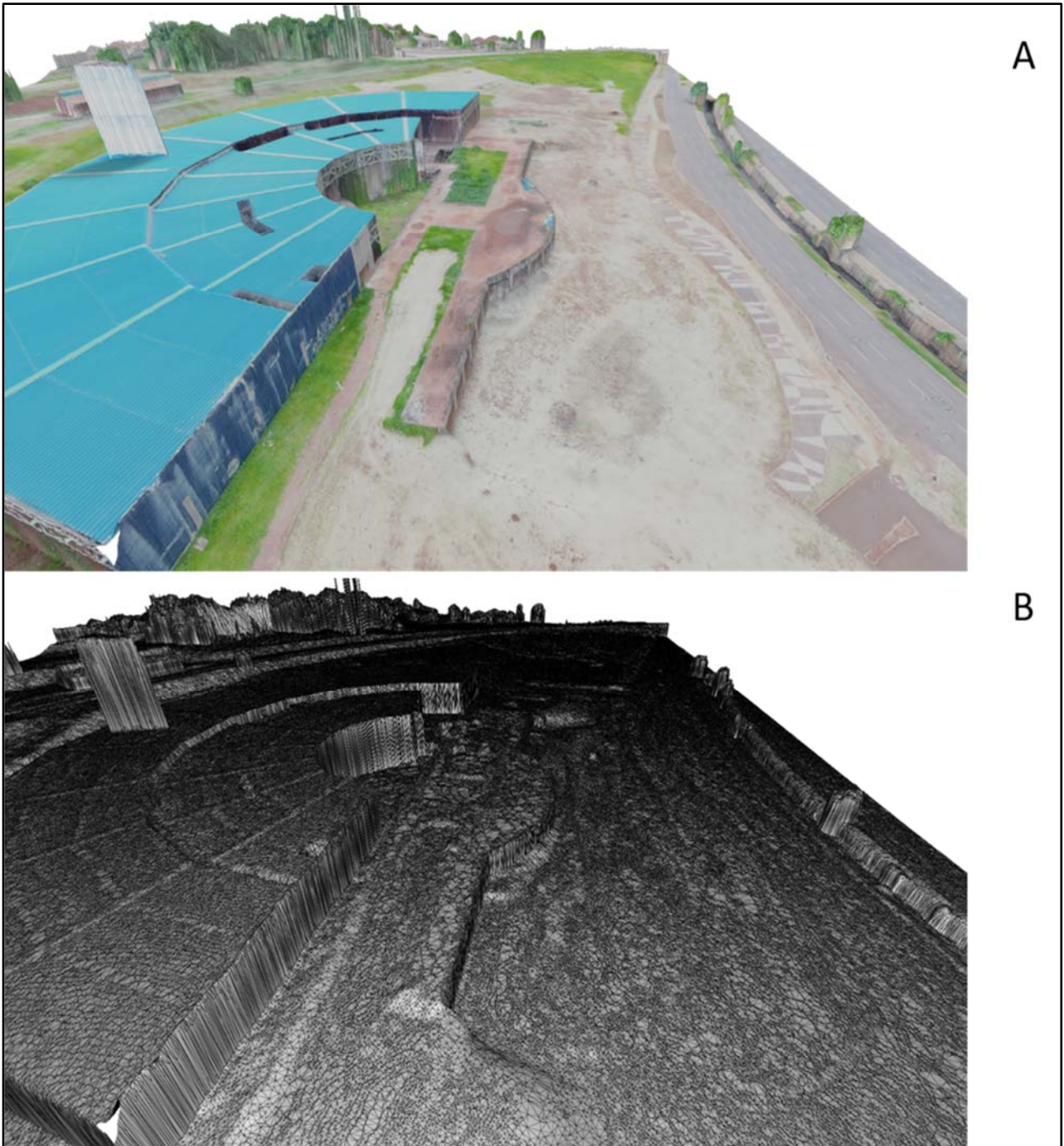


Figura 14.3. Modelo digital de superfície da rodoviária da Av. Presidente Ernesto Geisel, obtido através de imagens de multirrotadores. Em A: Modelo 3D em cores reais e em B demonstração da rede irregular do modelo digital 3D.

A separação das informações entre a superfície e o terreno depende propriamente da origem e das informações contidas no modelo digital, desse modo, existe a técnica de geoprocessamento adequada de aplicação para cada modelo, pois eles são disponibilizados com níveis variados de pré-processamento. No caso de um modelo estereoscópico, por medidas fotogramétricas, podem ser aplicadas a definição de parâmetros de filtros de superfície, concomitante com as características do terreno (GAMARRA, 2020). Esses filtros levam em conta parâmetros de remoção da superfície do terreno como a angulação máxima dos objetos da superfície, a distância máxima em altura dos objetos e o tamanho das células em pixel dos



objetos removíveis, contudo a utilização desses procedimentos depende estritamente do poder de processamento e dos *softwares* utilizados no trabalho.

## 14.2. Delimitação de Bacia Através de MDE

A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema de cursos d'água, dispondo de uma simples saída, seu exutório, onde toda a vazão afluyente é descarregada (VIESSMAM JR. et al., 1972). A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Lei nº 9.433/1997, estabelece em seu art. 1º, a bacia hidrográfica como unidade de territorial de implantação dos instrumentos de gestão da PNRH (BRASIL, 1997), sendo de suma importância conhecer os seus limites, que podem ser delineados em SIG.

As ferramentas aqui apresentadas são comuns a vários SIGs, podendo ser implementada uma rotina de processamento seguindo etapas que configuram na extração da rede de drenagem e posteriormente na delimitação do exutório e do limite e ordem da bacia a qual se pretende analisar. Como exemplo, há a biblioteca do TerraLib (INPE, 2020 a) gratuitamente disponível que possui como pacote o TerraHidro (INPE, 2020b). O TerraHidro permite ao usuário executar modelagens hidrológicas, relacionadas tanto a recursos hídricos superficiais quanto subterrâneos.

Um dos SIGs mais utilizados atualmente, talvez o mais popular, é o QGIS. Sua popularidade se dá por vários motivos, além de ser um *software* livre e de código aberto ele possui a possibilidade de criação de ferramentas por terceiros via *plugins* e tem integração com outros *softwares* de código aberto, como GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) e SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*). Oferece uma interface de programação em Python e possibilidade de integração com *scripts* do *software* R, dando uma maior liberdade ao usuário. Uma grande vantagem de se ter integrados vários *softwares* é a gama de opções que se tem para realizar um mesmo processo, o que se prova muito útil, já que algumas ferramentas possuem limitações.

Um dos problemas que se encontra na delimitação de bacias e extração de drenagem por MDEs é o tamanho das grades, onde ferramentas comuns são, além de ineficientes (Arge et al., 2001), algumas são incapazes de processar grades massivas. Tal problema pode ser solucionado utilizando a ferramenta *terraflow* que se encontra no GRASS GIS.

Outro *software* que há boa aceitação entre seus usuários e permite melhorias no aspecto visual de imagens 3D é o Blender. O Blender é um pacote de criação 3D gratuito e de código aberto, que suporta vários tipos de formatos de arquivos digitais como entrada para modelagem. Seu pacote permite fazer simulações em 3D, renderização, composição e rastreamento de movimento, além de edições de vídeos e animações 2D (COMMUNITY, 2020).

### 14.2.1. Procedimentos Comuns para Delimitação de Bacias Hidrográficas em SIG

A delimitação da extensão de uma bacia hidrográfica pode ser determinada a partir de ferramentas geotecnológicas. Apesar de tal atividade ser um assunto bem conhecido nos sites e fóruns, a definição dos procedimentos executados automaticamente nos *softwares* gera

dúvidas recorrentes acerca dos processos de extração de drenagem, criação de áreas de contribuição, direção de escoamento e outros elementos de suma importância para análises hidrológicas.

Para delimitar uma bacia hidrográfica são necessárias apenas a direção de fluxo e as coordenadas do exutório, pois a bacia é composta pelo somatório de todos os pixels que fluem para o exutório. Entretanto, existem outros procedimentos para extrair as informações morfométricas, geralmente executadas em *software*, sendo apresentados na Figura 14.4, assim como suas descrições na sequência.

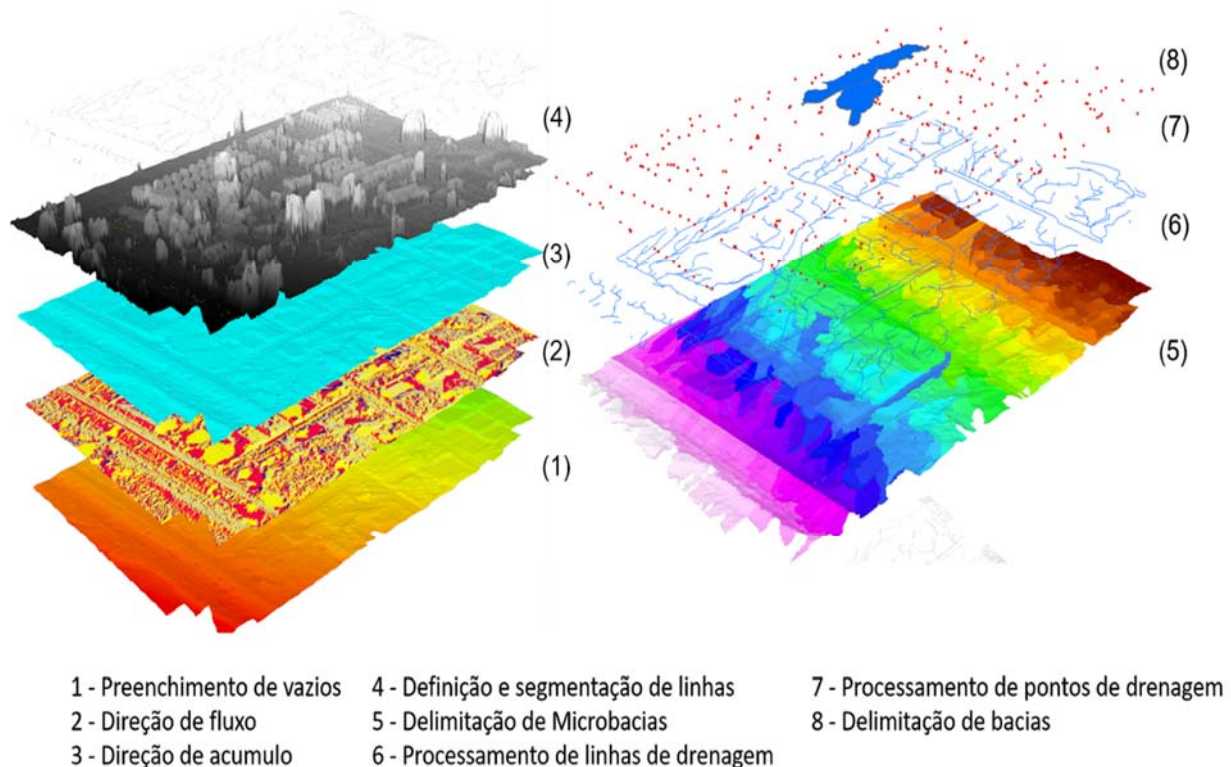


Figura 14.4. Fluxograma dos processos geralmente executados para a delimitação de bacia hidrográfica.

#### 14.2.1.1. Preenchimento de Vazios

Se uma célula estiver cercada por células de maior altitude, a água contida naquela célula não conseguirá fluir. Outra situação recorrente no modelo digital de superfície ou de elevação é uma célula cercada por pixels mais baixos, provocando desnível. Nesse caso, o pico isolado é eliminado, mas se o desnível for inferior a 1 metro, geralmente, não há alteração ou interferência no resultado final. Essas inconsistências são consideradas erros por padrão, porque são formas raras em relevos reais, mas são comuns em interpoladores devido a erros sistemáticos no processo de espacialização. De maneira geral, qualquer célula muito contrastante com seus pixels vizinhos é considerada como anomalia, seja ela um sumidouro ou um pico.

Para corrigir essas falhas são aplicadas funções para preencher as depressões e eliminar os picos isolados existentes no MDS ou MDE, atribuindo um valor nulo às células anômalas e modificando o valor da elevação diante do padrão de valores dos pixels vizinhos. Em alguns



*softwares* pode-se optar por preencher todas as depressões no MDS; todas as depressões com profundidade abaixo do limite especificado ou todos os sumidouros, exceto aqueles definidos como sumidouros reais (para terreno não dendríticos). Uma ilustração desse processo é apresentada na Figura 14.5.

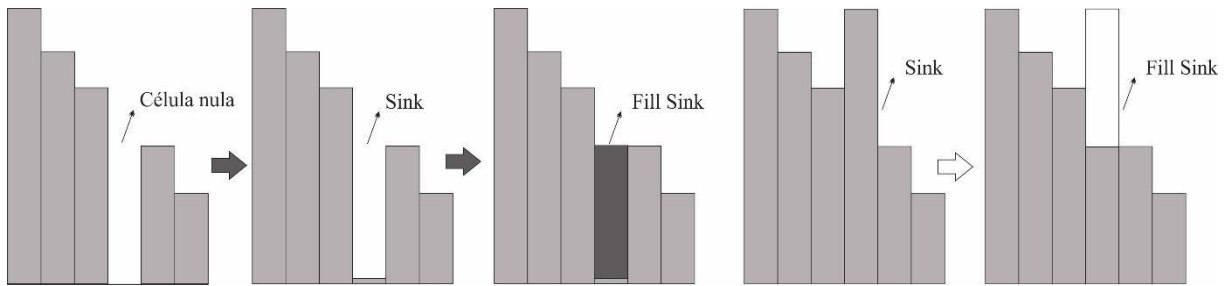


Figura 14.5. Processo de correção de falhas em que o *Fill Sinks* considera as alturas das células vizinhas para preencher as falhas, tendendo a uma uniformização por proximidade (adaptado de LEAL et al., 2017).

Alguns algoritmos funcionam iterativamente executando o processo de *Fill Sink* mais de uma vez, sendo utilizado em conjunto com a ferramenta de Direção de Fluxo. Esses algoritmos resolvem as anomalias em um primeiro momento e então geram a direção de fluxo. Se o algoritmo detectar áreas com problema na direção de fluxo, tais como sumidouros, ele delimita essas áreas e realiza novamente o processo de *Fill Sink* nessas áreas.

Essa iteratividade melhora os resultados de extração de drenagem e delimitação de bacias e, por esse motivo, essas ferramentas têm sido agrupadas em um mesmo algoritmo, o qual pode fazer o processo todo, desde correção até geração das bacias. Entretanto, utilizar esse agrupamento como uma ferramenta só, sem o entendimento de cada ferramenta contida no grupo, pode levar à geração equivocada de produtos, preenchimento incorreto de parâmetros e a incapacidade em identificar problemas ao longo do processo. Por esse motivo, é importante compreender os processos separadamente.

#### 14.2.1.2. Direção do Fluxo

A direção do fluxo pode ser determinada por vários métodos. O mais utilizado é o D8 (O'CALLAGHAN e MARK, 1984), onde o algoritmo compara a *digital number* central com os seus vizinhos, buscando a descida mais íngreme dessa célula, como demonstrado pela Figura 14.6.

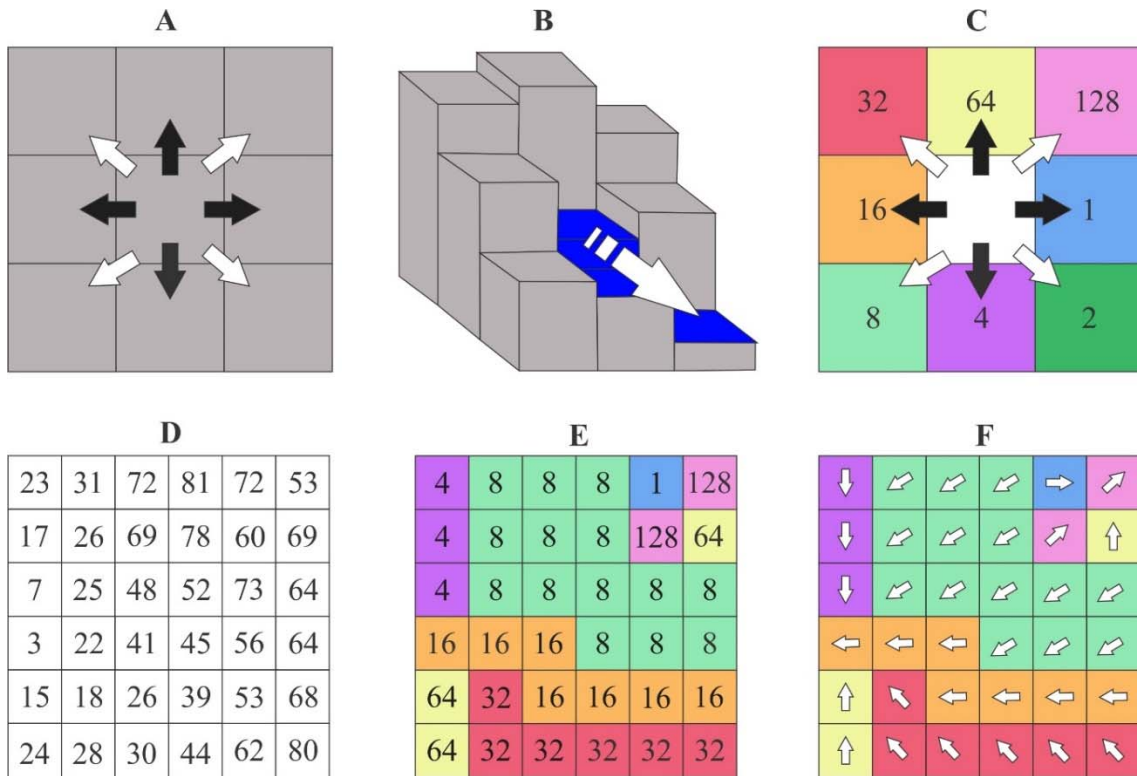


Figura 14.6. Exemplificação de determinação da direção e processo de acumulação do fluxo de água na superfície usando o método D-8 (O'CALLAGHAN e MARK, 1984). Em A, B e C, o algoritmo define a direção do fluxo de um pixel central cercado por 8 píxeis adjacentes, onde o fluxo continuará até o pixel com menos elevação dentre eles. Em seguida, codifica-se a grade original (D) para obter o escoamento superficial (E) e a código de direção do fluxo (F) da água (adaptado de LEAL et al., 2017).

14.2.1.3. Acúmulo de Fluxo

A função de acumulação de fluxo regionaliza uma grade de acumulação de fluxo para cada célula dentro da própria grade de entrada, a qual contém o número de células de acumulação a montante desta célula.

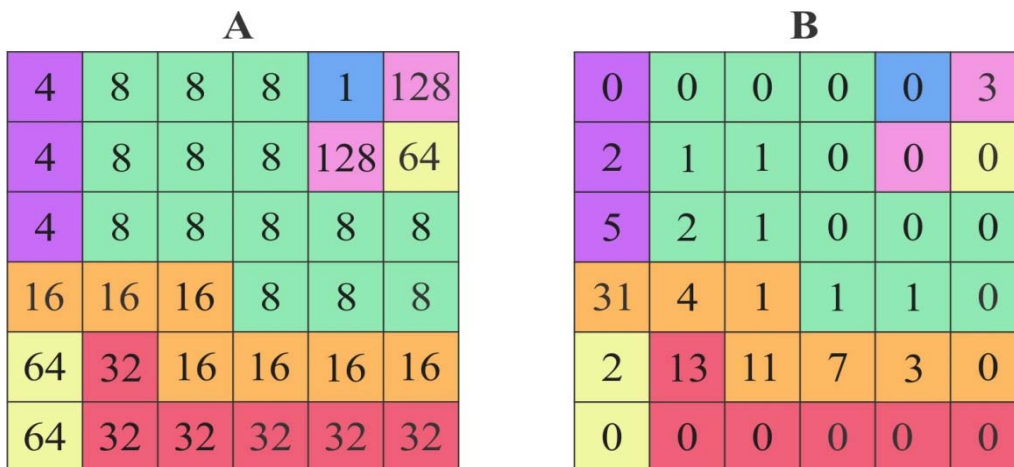


Figura 14.7. Processo de determinação de fluxo que considera a grade com os códigos de direção de fluxo do processo anterior como dado de entrada (A) e contabiliza a quantidade recebida e acumulada das células a montante e adjacentes (B).

14.2.1.4. Definição e Segmentação de Linhas

A função que define as linhas (*stream definition*), geralmente, calcula a grade de fluxo com base na grade de acumulação de fluxo e no limite especificado pelo usuário. Para as células na grade de acumulação de fluxo de entrada, cujo valor é maior que o limite especificado, são atribuídas o valor 1 (um) e todas as outras recebem o valor zero.

A função de segmentação de fluxo pode criar uma grade de segmentos de fluxo com uma identificação exclusiva. O segmento pode ser o segmento principal ou pode ser definido como o segmento entre os pontos de conexão dos dois segmentos. Todas as células em um segmento de rede específico têm o mesmo código de grade específico para esse segmento de rede.

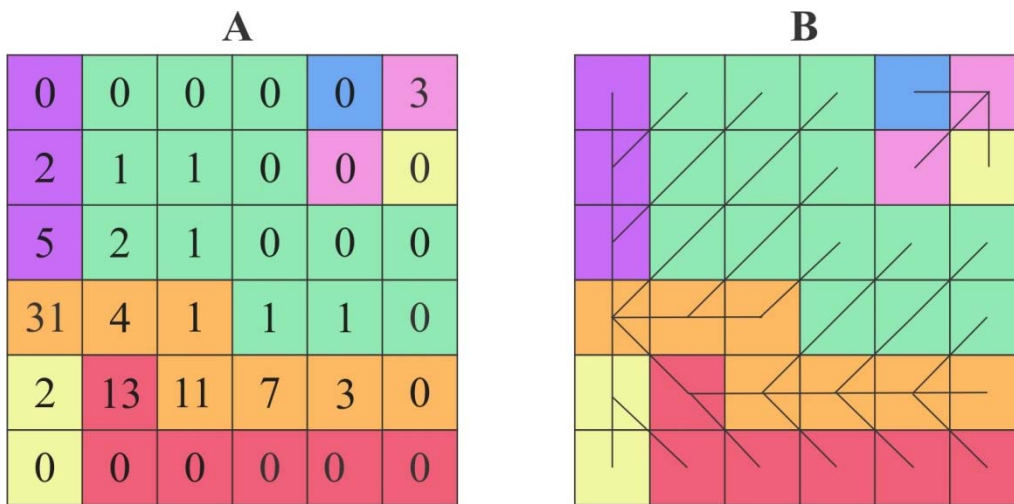


Figura 14.8. Processo de definição de linhas de fluxo que considera a grade com os códigos de acúmulo de fluxo do processo anterior como dado de entrada (A) e atribui o valor 1 (um), quando o valor de acúmulo de fluxo é maior que o limite especificado pelo usuário.

14.2.2. Processamento Opcional

As funções A) direção de fluxo com linhas; B) combinar *link* de fluxo e *link* de depressão e C) delineamento de grade de captação são opcionais, mas também são descritas nesse capítulo. Essas funções podem ser usadas para mascarar a grade de fluxo de entrada, portanto, nenhum caminho de ligação de fluxo será criado nessas áreas.

a) Direção do fluxo com linha (*flow direction with stream*): Primeiro, essa função usa a grade de direção do fluxo de entrada para gerar a classe de recurso de tubulação de drenagem a partir da camada de fluxo existente. Posteriormente, ela utiliza a camada de fluxo novamente para adicionar distribuição de fluxo. Você pode usar esta função ao invés da função *Stream Definition* para corresponder ao fluxo de entrada mais próximo possível (ou seja, comprimento, divisão do fluxo). Essa função edita a grade de direção do fluxo de entrada para gerar uma grade de direção de fluxo oblíqua a partir da saída, para garantir que a água permaneça no fluxo fornecido e não salte entre os fluxos na junção.

b) Combinar ligação de fluxo e ligação de depressão: cria uma grade de ligação que combina uma grade de ligação de fluxo que represente uma área dendrítica e uma grade de ligação de coletor que represente uma área fora de ordem (ou seja, uma área com depressões).

A grade do *link* é usada para gerar abstrações - uma abstração será criada para cada *link* e representará a área drenada para esse *link*.

c) Delineamento da grade de captação: cria uma grade com um valor (código de grade) em cada célula, que indique qual entrada a célula pertence. Esse valor corresponde ao valor transportado pelo segmento de fluxo ou *link* coletor que drena a área e esse valor é definido na grade de ligação do segmento de fluxo de entrada (segmento de fluxo) ou na grade de *link* de coletor (segmento de dissipador).

d) Processamento da linha de drenagem: converte a grade "ligação de fluxo entrada", que geralmente é criada usando a função "segmentação de fluxo", em uma classe de recurso "drenagem". Cada linha da classe de recurso carrega o identificador de sua bacia.

e) Processamento adjunto de captação: Essa função gera as captações à montante agregada a partir da classe de recurso "Captação". Para cada bacia hidrográfica gerada pelo sistema, mas que não é realmente bacia hidrográfica, pois não termina no exutório, um polígono representando toda a área a montante drenada até o ponto de entrada é construído e armazenado em uma classe de recurso que possui uma etiqueta "Captação Adjunta". Essa classe de recurso é usada para acelerar o processo de delimitação de pontos.

f) Processamento de ponto de drenagem: permite gerar os pontos de drenagem associados às bacias hidrográficas.

g) Caminho de fluxo mais longo para as bacias hidrográficas: permite gerar os maiores caminhos de fluxo associados às bacias hidrográficas. Isso é necessário para acelerar a geração dos caminhos de fluxo mais longos. Se você não planeja gerar esses tipos de recursos, pode pular esta etapa e a próxima.

h) Caminho de fluxo mais longo para captações adjacentes: permite gerar os caminhos de fluxo mais longos associados às captações adjacentes.

### **14.2.3. Delineamento de Bacias Hidrográficas**

Esta função executa a delimitação de bacias hidrográficas processando as grades de direção de fluxo e acúmulo de fluxo para gerar bacias e sub-bacias em lote. Também é possível delimitar uma bacia específica pela direção de fluxo e a coordenada do exutório.

#### *14.2.3.1. Delineamento de Sub-Bacia do Lote*

Esta função permite delinear sub-bacias hidrográficas para todos os pontos em uma classe de recurso do ponto selecionado. A entrada para a função de delimitação da sub-bacia do lote é uma classe de recurso de ponto com locais de interesse. A função "Geração de Ponto de Lote" pode ser usada para criar interativamente esse arquivo.

## **14.3. Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil e os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento

de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de mestrado concedidas a Andrey Gaspar Sorrilha Rodrigues.

#### 14.4. Referências

ARGE, L.; CHASE, J. S.; HALPIN, P. N.; TOMA, L.; VITTER, J. S.; URBAN, D.; WICKREMESINGHE, R. Flow computation on massive grids. In Proc. **ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems**. 2001.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 09 jun. 1997.

Community, B. O. Blender - a 3D modelling and rendering package. Stichting Blender Foundation, Amsterdam. Disponível em: <http://www.blender.org>. Acessado em: 01 jun 2020.

CORREA, N. F.; RIBEIRO, V. DE O.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Obtenção de MDE Corrigido para Delimitação de Bacia Hidrográfica com Auxílio de Geotecnologias Livres. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, p. 217-225, 2017. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/11417>>. Acesso em: 23 jul. 2020.

GAMARRA, R. M. (org). **Drones: guia básico para mapeamento aéreo**. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2020. Disponível em: [https://repositorio.ufms.br:8443/jspui/bitstream/123456789/3532/1/DRONES\\_%20Guia%20b%C3%A1sico%20para%20mapeamento%20a%C3%A9reo%20\\_.pdf](https://repositorio.ufms.br:8443/jspui/bitstream/123456789/3532/1/DRONES_%20Guia%20b%C3%A1sico%20para%20mapeamento%20a%C3%A9reo%20_.pdf). Acesso em: 23 jul. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Departamento de Processamento de Imagem**. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraLib/TerraView**. Coordenação Geral de Observação da Terra. 2020. Disponível em: <[www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/projetos/terralib-terraview](http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/projetos/terralib-terraview)>. Acessado em: 01 jun. 2020. (a).

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraHidro**. Coordenação Geral de Observação da Terra. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/projetos/terrahidro>>. Acessado em: 01 jun. 2020. (b).

LEAL, R. E.; MEDEIROS, L.; QUEIROZ, J.; BRITO, G. L.; COIADO, L. L. Utilização das extensões TauDEM e Archydro: um estudo comparativo aplicado à delimitação automática de bacias hidrográficas no Estado do Pará. **Revista SEAF**, v. 1, p. 204-218, 2017.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data, *Comput. Vision Graphics Image Process.*, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MARCATO JR, J.; CATALANI, T. G. T. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2016. 383 p.

VISSMAN JUNIOR, W.; HARBAUGH, T. E.; KNAPP, J. W. **Introduction to hydrology**. New York: Intext Educational Publishers, 1972.



# Modelagem do Terreno

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Thais Gisele Torres Catalani<sup>2</sup>, Dhonatan Diego Pessi<sup>3</sup>,  
Camila Leonardo Mioto<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

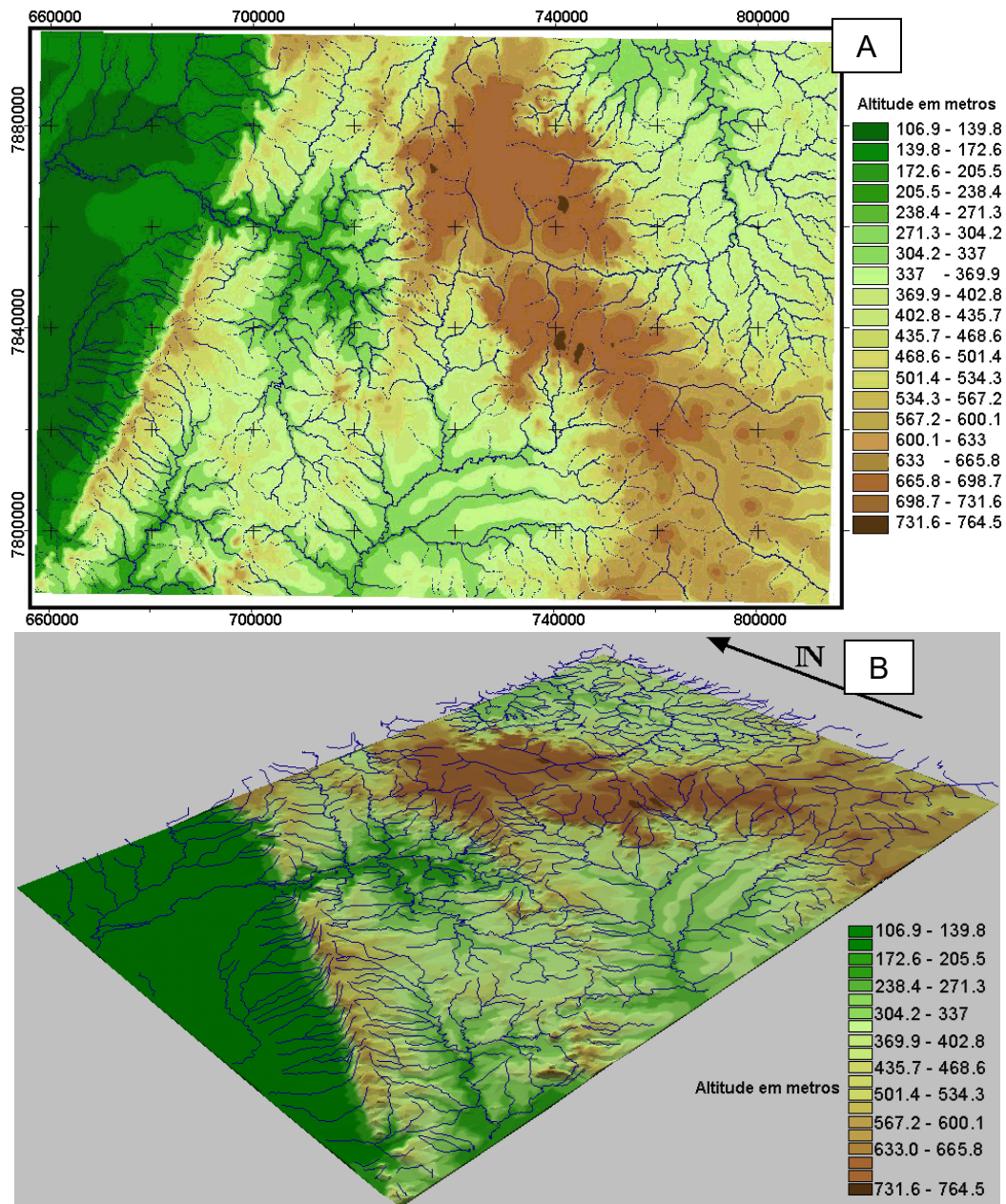
Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

## 15.1. MDT – Modelo Digital de Terreno

O MDT - modelo digital de terreno (DTM - *Digital Terrain Model*) é uma forma de representação numérica/matemática de uma característica ou fenômeno espacial ambiental. Exemplos são as cartas de teores de um bem mineral ou mesmo de um contaminante.

Rocha (2000) cita que o termo modelo numérico de terreno (MNT) foi utilizado inicialmente no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) por volta de 1955 e que hoje não traduz apenas a superfície altimétrica do terreno.

O modelo digital de terreno que reflete a superfície topográfica é chamado de modelo digital de elevação - MDE (DEM - *Digital Elevation Model*). Muitos MDT podem ser representados em 2D ou 3D (Figura 15.1). Além de aplicações hidrológicas, um MDE pode ser utilizado também na correção de distorções para geração de imagens ortorretificadas.



15.1. Em A é exibido o DEM em 2D de uma área, que pode ser visualizado em 3D em B (PARANHOS FILHO, 2000).

## 15.2. MDE – Modelo Digital de Elevação

O MDE - modelo digital de elevação (DEM - *Digital Elevation Model*) é um tipo especial de MDT que representa digitalmente o relevo do terreno, isto é, trata-se de um modelo específico, que representa digitalmente a superfície topográfica do terreno.

Schrader e Pouncey (1997) explicam que inicialmente o termo DEM foi utilizado para os dados de elevação fornecidos pelo USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Além do termo DEM, estes autores utilizam também o termo DTED (*Digital Terrain Elevation Data* - dados digitais de elevação do terreno) para os dados de

elevação gerados pela DMA (*Defense Mapping Agency* - Agência de Mapeamento de Defesa dos Estados Unidos).

O DEM, em ambiente SIG, pode ser gerado de informações de relevo obtidas com curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, ou a partir do par estereoscópico. A partir de dados discretos ou em malha, regular ou irregular, o sistema faz uma interpolação e gera uma matriz de dados contínuos (*raster*) com o valor da cota altimétrica de cada célula (Figura 15.2). Estes dados também podem ser interpolados como uma grade triangular irregular (vetorial).

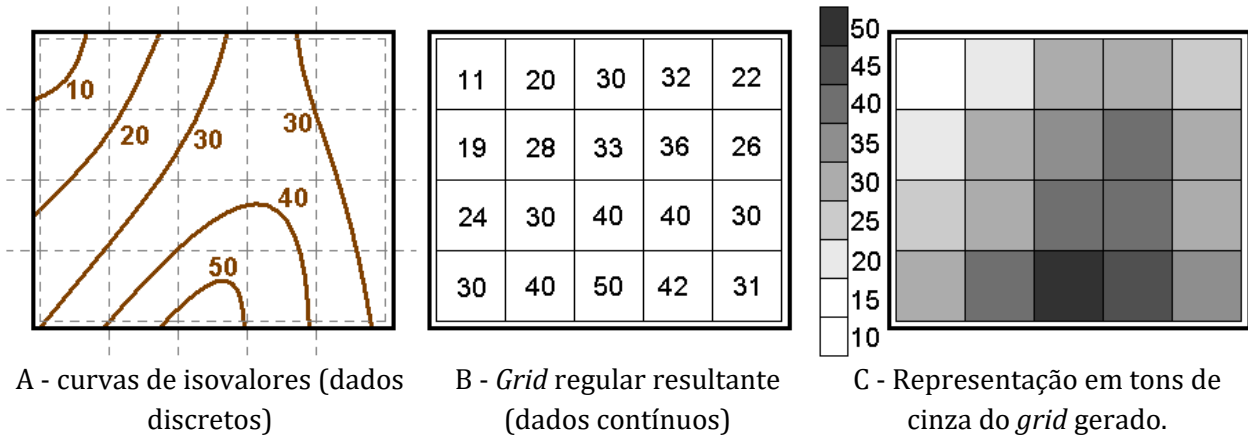


Figura 15.2. Em "A" são exibidas curvas de iso-valor, convertidas em uma grade de células regulares em "B". "C" é sua representação em tons de cinza. Se as curvas de iso-valor mostradas forem curvas de nível, o grid "B" é um DEM. Porém, as curvas de "A" podem estar exibindo teores de algum bem mineral ou contaminante. Nestes casos, o grid resultante também é válido sendo considerado o modelo digital de terreno para o bem mineral ou para o contaminante.

A representação de modelos digitais de terreno envolve ainda o uso de dois outros termos: GRID e TIN, que são explicados a seguir.

### 15.2.1. GRID - Grade Regular

De formato *raster*, Assad e Sano (1998) definem que a grade regular é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico (Figura 17.3). Como o valor numérico associado ao *pixel* não é uma cor e por si só tem significado (altitude em um DEM) vários autores preferem chamar este tipo de arquivo *raster* de GRID (ou grade). Além disto, muitas vezes seus *pixels* são chamados de células, mas conceitualmente trata-se de um arquivo *raster*.

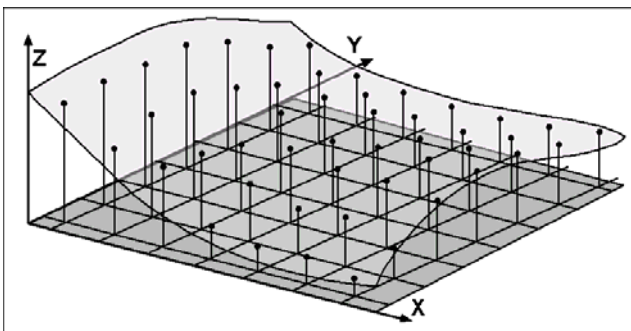


Figura 15.3. Superfície e grade regular correspondente (NAMIKAWA, 1995).

### 15.2.2. TIN – Grade Triangular

A grade irregular triangular ou TIN (*triangular irregular network*) é uma estrutura do tipo vetorial, com topologia do tipo nó-arco e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas (Figura 15.4). Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização ( $x, y$ ) e o atributo  $z$ , correspondente ao valor de elevação ou altitude.

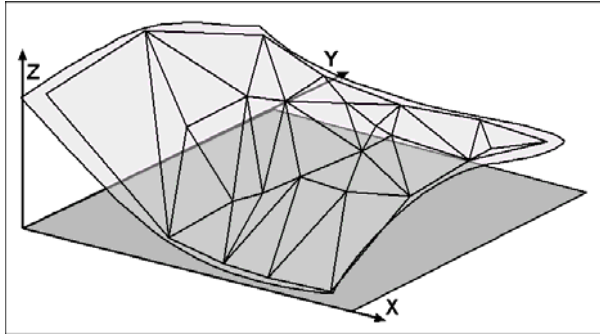


Figura 15.4. Superfície e grade triangular correspondente (NAMIKAWA, 1995).

A Figura 15.5 mostra a diferença entre um GRID DEM e um TIN gerados para uma mesma bacia, a partir da mesma base de dados e em uma mesma escala de cores hipsométricas. O GRID parece refletir mais a superfície real do terreno, porém o TIN pode ser mais preciso para cálculos altimétricos. Não existe o conceito de melhor ou pior neste caso, mas sim qual é o mais adequado ao tipo de aplicação desejada. Veja também o Capítulo 8, item 8.2 sobre dados *raster* e vetoriais.

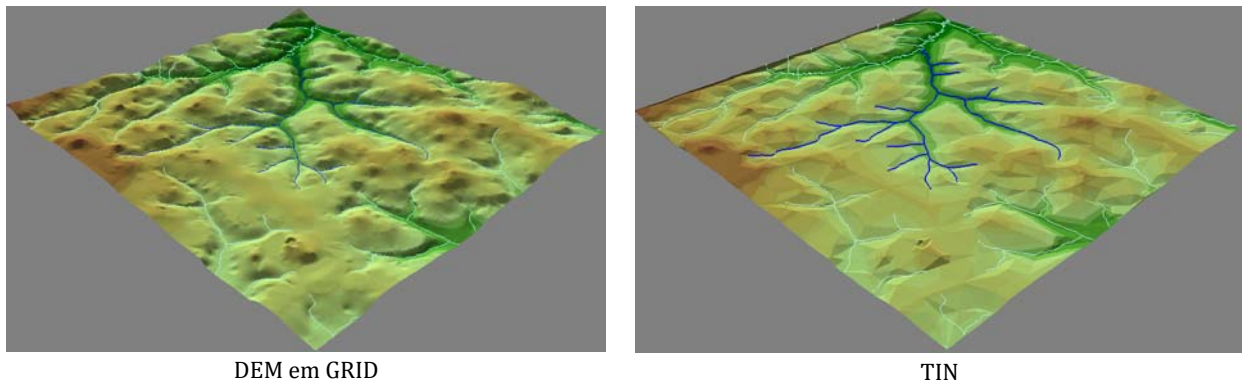


Figura 15.5. Modelos digitais de elevação para a Bacia do Córrego Guariroba, MS. Ambos com sobre-elevação de 5 vezes (TORRES et al., 2005).

A literatura apresenta ainda o termo *latice* (*lattice*) que se refere a uma superfície de interpretação de um GRID. É uma grade com intervalos constantes de amostragem a partir de uma origem determinada. O *latice* não armazena as informações no formato tradicional  $x, y, z$  de um GRID, mas sim da sua origem e de seu intervalo de amostragem. Em um GRID os valores de  $z$  se referem homogeneamente a toda a célula, enquanto em um *latice* o valor  $z$  está associado apenas ao centro da célula (ESRI, 1997).

É interessante observar ainda que, atualmente, já se pode adquirir pares estereoscópicos e DEM gerados por sensores remotos.



### 15.2.3. Produtos Gerados de um DEM

Diversos produtos podem ser derivados de um DEM, a seguir são apresentados os principais:

Declividade (*slope*) – a partir de um DEM podem ser obtidos os valores de declividade. O usuário pode escolher valores de declividade em graus ou percentual (Figura 15.6 e 15.7). Podem ainda ser geradas imagens com cores hipsométricas exibindo os diferentes valores da declividade do terreno, ou mesmo, gerar curvas de nível nas cotas desejadas pelo usuário. Neste caso, a acurácia do DEM deve ser considerada na escolha da equidistância entre as curvas.

A Figura 15.6 mostra a relação entre a declividade em graus e em percentual, dada pelos catetos da figura. Em campo, porém, normalmente, tem-se a medida da hipotenusa e o desnível, que podem também ser usados no cálculo da declividade, usando trigonometria.

Figura 15.6. Esquema mostrando o significado da declividade do terreno e a relação entre os valores em graus e em percentual, para efeitos de comparação a hipotenusa de todos os triângulos possui o mesmo comprimento (modificado de ESRI, 1997).

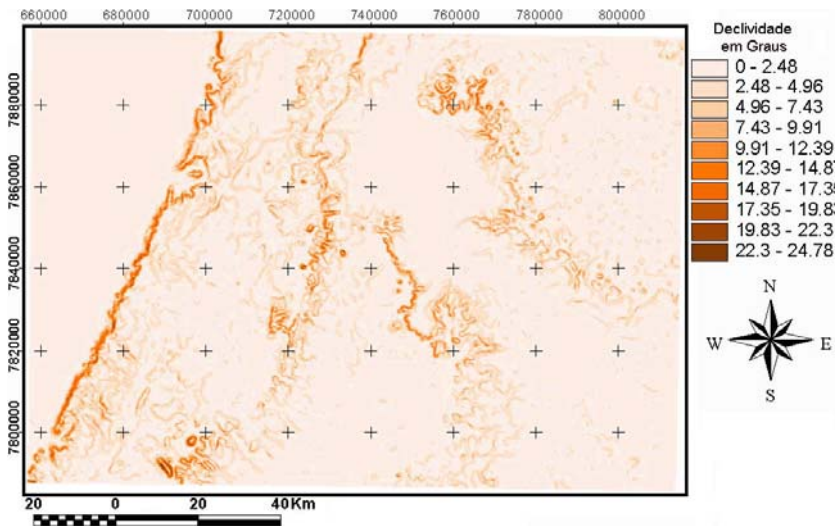
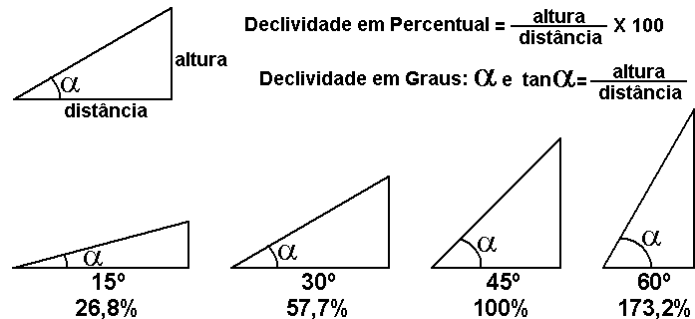


Figura 15.7. Carta de declividade gerada para a Folha Camapuã - MS (original em escala 1:250.000) a partir da vetorização das curvas de nível (PARANHOS FILHO, 2000).

*Aspect* – este GRID identifica a direção da maior taxa de modificação nos valores de declividade a jusante de cada célula em relação às células vizinhas, permitindo a identificação da direção do declive e, portanto, das vertentes (Figura 15.8). Indica ainda a existência de áreas planas (ESRI, 1997).



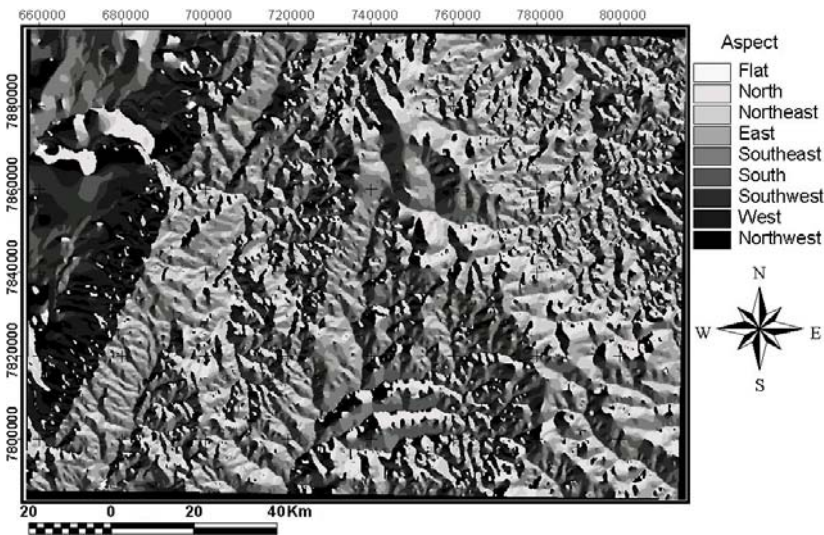


Figura 15.8. Aspect mostrando as direções das vertentes, gerado a partir da carta de declividade da Figura 15.7 (PARANHOS FILHO, 2000).

*Hillshading* – é um GRID que ilustra a superfície do relevo sombreada por uma iluminação hipotética (Figura 15.9). O usuário pode interagir escolhendo a inclinação e azimute do sol (ou foco de iluminação) e pode ser útil para o realce da visualização de uma superfície (ESRI, 1997).

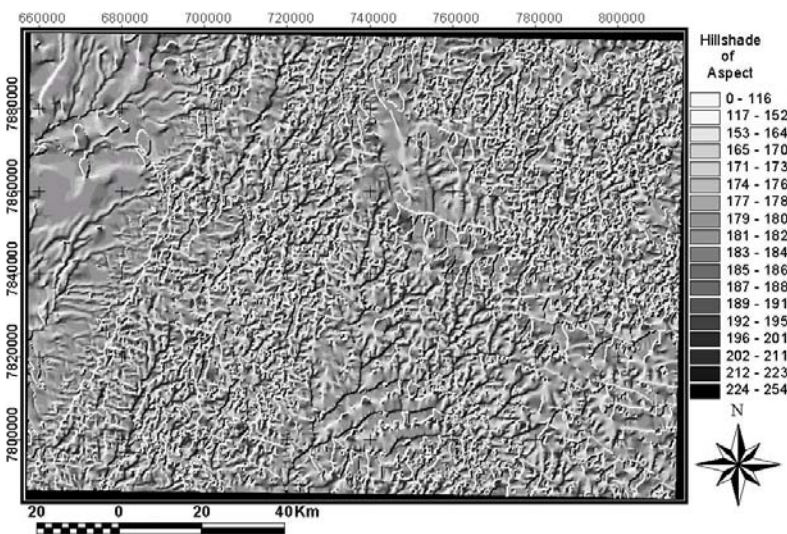


Figura 15.9. *Hillshading* mostrando um sombreamento com uma fonte luminosa no azimute 45°, com uma inclinação de 45° em relação a linha do horizonte, gerado a partir da carta de declividade da Figura 13.7 (PARANHOS FILHO, 2000).

#### 15.2.4. Aplicações de DEM

Torres et al. (2005) trabalhando com a delimitação de bacias hidrográficas, levantaram a questão de que a localização precisa de uma bacia hidrográfica é muito importante, seja num trabalho ou estudo que exija a identificação de sua área de influência, ou mesmo para atender os requisitos da Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), que definiu a bacia hidrográfica como unidade elementar de trabalho para gestão de recursos hídricos. O problema é que diferentes técnicos

podem chegar a diferentes limites para uma mesma bacia, sem haver necessariamente erro da parte de algum deles. Esta delimitação envolve a determinação precisa de seus limites.

O trabalho de Torres et al. (2005) foi desenvolvido sobre uma bacia, utilizando os dados de cartas topográficas (1:100.000 e 1:250.000) e imagens de satélite. O principal objetivo foi o de obter os limites do divisor de água em dois sistemas de informação geográfica- SIG, a partir de um DEM e compará-los com divisores obtidos manualmente em duas escalas diferentes (Figura 15.10).

Os resultados de Torres et al. (2005) apontaram diferenças em torno de 3%, nas áreas geradas pelos diferentes métodos, indicando delimitações diferentes da Bacia do Córrego Guariroba. Os limites gerados pelos sistemas de informação geográfica foram mais próximos que aqueles obtidos manualmente de cartas e imagens.

Os autores observaram ainda que os perímetros dos divisores obtidos a partir de DEM, em SIG, são mais longos por serem mais detalhados. Além disto, quando o divisor é traçado manualmente muitos dados de elevação são perdidos, pois não são percebidos analogicamente.

Neste contexto, Paranhos Filho et al. (2005), afirmam que a padronização da técnica de obtenção dos divisores de bacia deve considerar o PEC (Capítulo 5, item 5.5.2 – Padrão de Exatidão Cartográfica - Brasil, 1984, 2005), a acurácia e a escala da base cartográfica. A utilização de SIG na padronização deste procedimento é um requisito indispensável, pois, desta forma, diferentes operadores poderão obter resultados de mesma natureza.

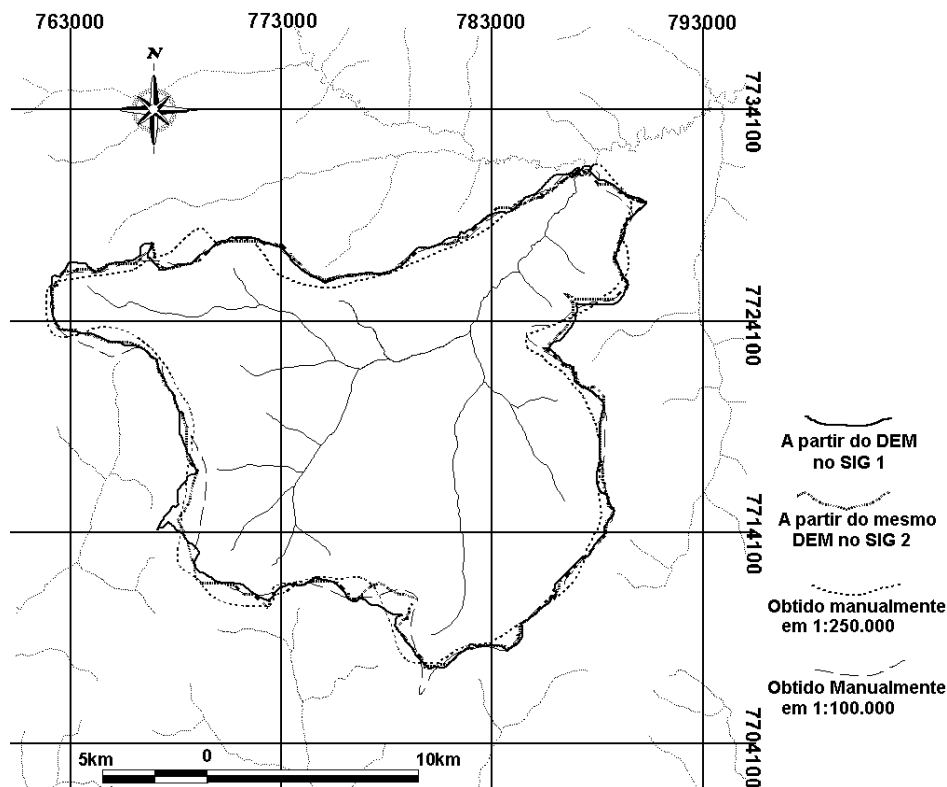


Figura 15.10. Comparação dos limites para uma mesma bacia hidrográfica obtidos de diferentes procedimentos (TORRES et al., 2005).

Além do limite, os MDE permitem realizar a caracterização morfométrica da bacia, que compreende a caracterização dos indicadores físicos da bacia que podem ser utilizados para a previsão de fenômenos como enchentes, inundações e erodibilidade (VILLELA e MATOS, 1975;

CARDOSO et al., 2006; MIOTO et al., 2014). Nesse sentido, tem-se que a caracterização morfológica é de fundamental importância, servindo como instrumento para o manejo de bacias hidrográficas, principalmente quando a área em questão está sofrendo modificações em seus cursos d'água (PINTO JÚNIOR e ROSSETE, 2005; TONELLO, 2005; MIOTO et al., 2014).

### 15.3. Diferença entre MDT, MDE e MDS

É comum, mesmo entre usuários de geotecnologias, confundir o significado de MDT (modelo digital de terreno), MDE (modelo digital de elevação) e MDS (modelo digital de superfície).

O MDT é uma representação digital de uma situação ou fenômeno, como a contaminação de um lugar ou o teor de um bem mineral. Chamamos MDE o MDT que especificamente está modelando dados altimétricos. Todos MDE são MDT. Porém nem todos os MDT representam altimetria.

Por várias questões, durante a modelagem do relevo, as feições acima do solo nua, a vegetação, as construções, são incorporadas ao modelo, criando um MDS. A superfície do terreno "nua", sem os obstáculos, é o MDE (modelo digital de elevação). Na Figura 15.11 é ilustrado um exemplo entre o MDS e o MDE.

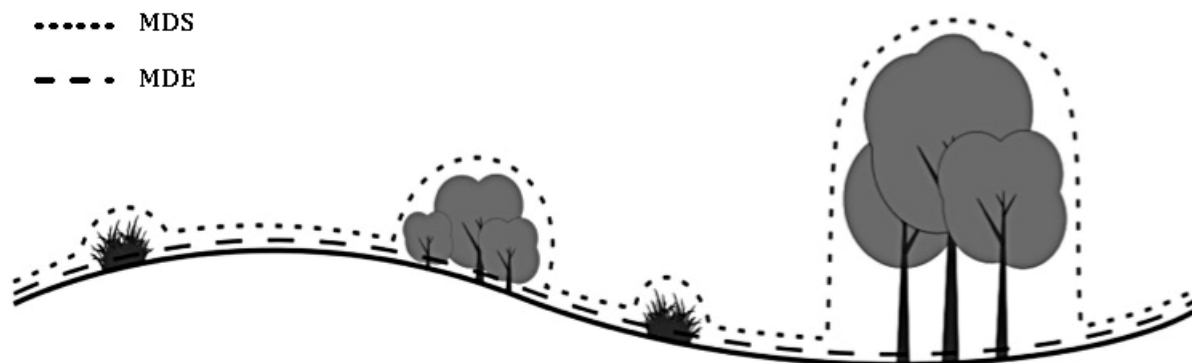


Figura 15.11. Exemplo entre os modelos digitais de superfície e de elevação (adaptado de MIROSLAW-SWIATEK et al., 2016).

### 15.4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos das Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 15.5. Referências

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1998. 434 p.
- BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**: 22 jun. 1984. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acesso em: 19 ago. 2020.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: 09 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: 24 ago. 2020.
- BRASIL. Decreto nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**: 07 jan. 2005. Disponível em: <http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96972/decreto-5334-05>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 32, p. 241-248, 2006. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000200011&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000200011&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 24 ago. 2020.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Understanding GIS - The ARC/INFO method**. 4. ed. Environmental Systems Research Institute. New York: John Wiley e Sons Inc., New York, 1997. 526 p.
- MIOTO, C. L.; de OLIVEIRA RIBEIRO, V.; de QUEIROZ SOUZA, D. M.; PEREIRA, T. V.; ANACHE, J. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, n. 37, v. 2, p. 16-22, 2014.
- MIROSLAW-SWIATEK, D.; SZPORAK-WASILEWSKA, S.; MICHALOWSKI, R.; KARDEL, I.; GRYGORUK, M. 2016. Developing an algorithm for enhancement of a digital terrain model for a densely vegetated floodplain wetland. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.10, n.3, p.036013-1.
- NAMIKAWA, L. M. **Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características**. 1995. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1995.
- PARANHOS FILHO, A. C. **Análise GeoAmbiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. 2000. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2000. 213 p.
- PARANHOS FILHO, A. C.; TORRES, T. G.; LASTORIA, G.; RONDON, M. A. da C.; SOUZA, A. Contribuição à aplicação prática da Lei 8.433/1997: definição da localização dos divisores de bacia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 4., 2005, Ribeirão Preto, SP. **Anais [...]**. Ribeirão Preto, 2005.

PINTO JÚNIOR, O. B.; ROSSETE, A. N. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira, MT-Brasil. **Revista Geoambiente On-line**, n. 4, p. 38-53, 2005.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000. 220 p.

SCHRADER, S.; POUNCEY, R. **Erdas Field Guide**. 4. ed. Atlanta: Erdas Inc, 1997. 656 p.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. Viçosa**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2005.

TORRES, T. G.; PARANHOS FILHO, A. C.; RONDON, M. A. C.; LASTORIA, G.; SOUZA, A. Comparação do divisor de bacia obtido de diferentes modos: o caso de estudo da Bacia do Córrego Guariroba, MS. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 39-56, 2005.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.



# Monitoramento de Mudanças Climáticas: sensoriamento remoto comparado às estações meteorológicas automáticas

Dhonatan Diego Pessi<sup>1\*</sup>, Jefferson Vieira José<sup>2</sup>, Camila Leonardo Miotto<sup>3</sup>, Normandes Matos da Silva<sup>4</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Pós-Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela ESALQ, <sup>3</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Doutor em Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos pela Universidade de São Paulo, <sup>5</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP.

**\*Autor correspondente:**

Dhonatan Diego Pessi, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: dhonatan.pessi@gmail.com

Nos últimos anos, a agenda de muitos países busca a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, principalmente a desertificação, que afeta as condições e meios de subsistência mais básicos das pessoas em todo o mundo. Está se tornando cada vez mais vital desenvolver e usar modelos que possam não apenas medir mudanças climáticas e ambientais recentes, mas que também possam ser usados para prever mudanças futuras, especialmente em ambientes periféricos e frágeis como os encontrados em regiões semiáridas e regiões áridas (DAHAM et al., 2018; NASANBAT et al., 2018). A degradação da Terra em áreas subúmidas áridas, semiáridas e secas, pode ser o resultado de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas (UNCCD, 1994, 2013).

É importante que se faça o uso de vários modelos e métodos diferentes capazes de medir as transformações do ambiente, como aqueles baseados em sensoriamento remoto que são aplicados para medir e prever mudanças de temperatura presentes e futuras (HANSEN et al., 2010; AMANOLLAHI et al., 2012; DAHAM et al., 2018), mudanças de precipitação (HAWKINS e SUTTON, 2011; WU et al., 2011; IPCC, 2014; DAHAM et al., 2018) e mudanças na cobertura vegetal (ZHAO et al., 2017; LUAN et al., 2018). O monitoramento dessas mudanças ocorre através de dados de satélite de observação da Terra, pelos quais é possível ter melhor compreensão da dinâmica da vegetação, da temperatura e da precipitação (TSAI e YANG, 2016; BANIYA et al., 2018).

A vegetação é uma parte essencial em todo o ambiente geográfico, sendo responsável pela importante tarefa de intercâmbio biogeoquímico e energético entre o solo, a atmosfera e a água (LI et al., 2011; DONG et al., 2018;) e desempenha um papel de coordenação no equilíbrio do ecossistema terrestre, mudanças climáticas e ciclo da água (SUN et al., 1998; MAO et al., 2012; LUAN et al., 2018). Ao mesmo tempo, a vegetação é um dos componentes mais importantes e sensíveis da cobertura global do solo, o que pode refletir em impactos sobre as mudanças climáticas e das atividades humanas em um curto período (ZHANG et al., 2008; LUAN et al., 2018).

Há uma forte demanda de pesquisa para encontrar a interação entre a cobertura vegetal e o clima, pois a vegetação está intimamente relacionada a vários fatores ambientais, como a

umidade do solo, a temperatura da superfície e o ciclo hidrológico (ZHAO et al., 2017). Dessa forma, é de fundamental importância o monitoramento das mudanças que ocorrem na vegetação, assim como com as mudanças na precipitação e na temperatura da superfície, pois são consideradas informações valiosas e importantes para os modelos ambientais nas tomadas de decisão (CHUAI et al., 2013; ESPINOSA et al., 2017).

### 16.1. Dados Automáticos por Estações Meteorológicas

Uma estação meteorológica automática, também denominada apenas como EMA, é um sistema de equipamentos capazes de coletar, de minuto a minuto, informações meteorológicas do ponto onde está localizada. Essas estações coletam dados de temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar. No intervalo de uma hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em Brasília. Os parâmetros recebidos são validados através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados que fica disponível para o público (INMET, 2011). A Figura 16.1 ilustra como ocorre o procedimento de coleta, transmissão e armazenamento.

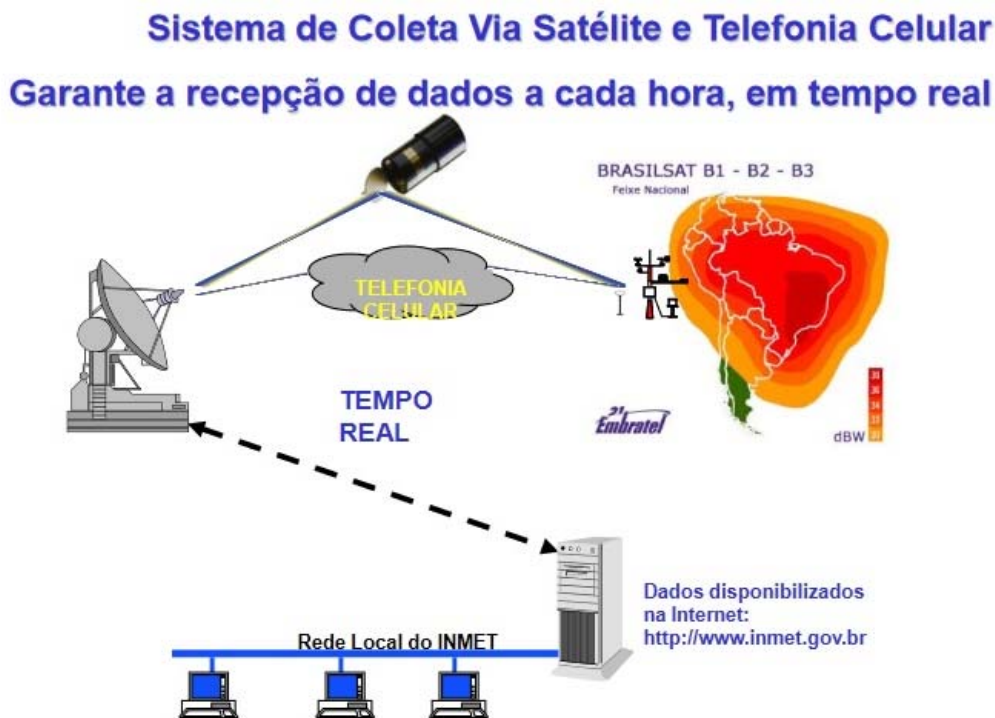


Figura 16.1. Sistema de coleta, transmissão e armazenamento dos dados de estações meteorológicas automáticas (INMET, 2011).

Quando se fala em estações meteorológicas, considera-se que há deficiência de dados, pois não há estações suficientes para cobrir todo o território nacional, ocorrendo “falhas de cobertura” que seriam áreas onde faltam estações. Esse problema é visualizado melhor em estados do Norte (Figura 16.2).



Figura 16.2. Distribuição de estações meteorológicas do INMET pelo território brasileiro (INMET, 2011).

Alguns estados brasileiros possuem maior número de estações meteorológicas e são bem distribuídas, como é o caso do Estado de Santa Catarina, onde além das estações meteorológicas do INMET, existem estações da Agritempo, ANA e Epagri (Figura 16.3). Entretanto, os dados da Agritempo e Epagri não são disponibilizados de maneira gratuita, sendo esses dados privados dessas instituições (VIANNA et al., 2017).

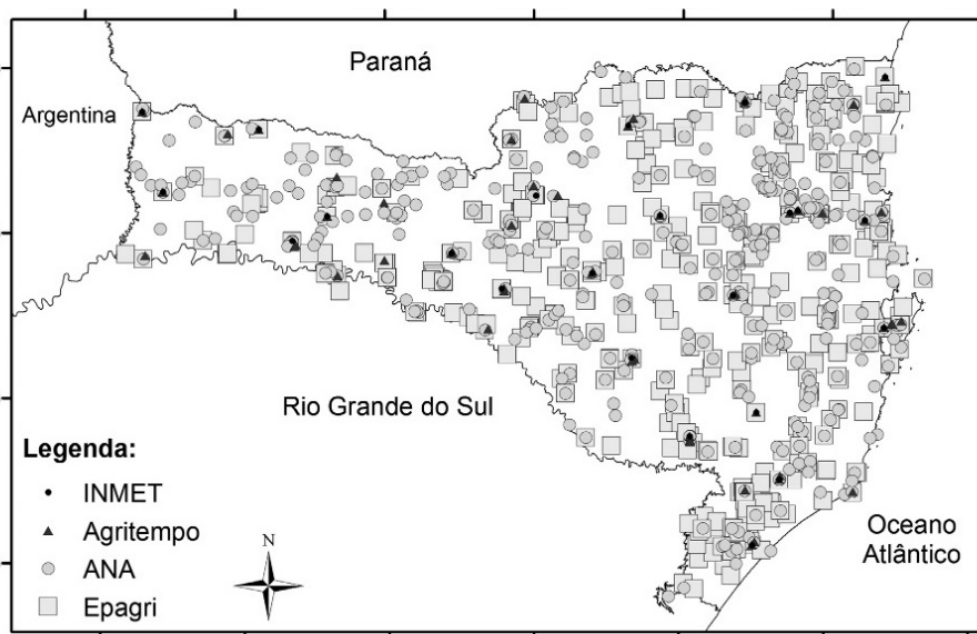


Figura 16.3. Estações meteorológicas distribuídas pelo estado de Santa Catarina (VIANNA et al., 2017).

A ausência de dados em determinada área de interesse do observador não ocorre com os satélites equipados com sensores capazes de medir dados como temperatura, precipitação, quantidade de CO<sub>2</sub>, temperatura da superfície terrestre (LST, *Land Surface Temperature*), cobertura vegetal e etc. A vantagem de se empregar o sensoriamento remoto é que a cobertura da área que se deseja coletar informações é total, ao contrário das estações meteorológicas, que são deficientes de cobertura, ocorrendo maior número em uma dada área e ausência quase que total em outras áreas do mesmo estado brasileiro, como é o caso de Mato Grosso, que possui muito mal distribuídas as suas estações, ocorrendo maior número na região Sul e Central do estado e menor número na região Norte (Figura 16.4).

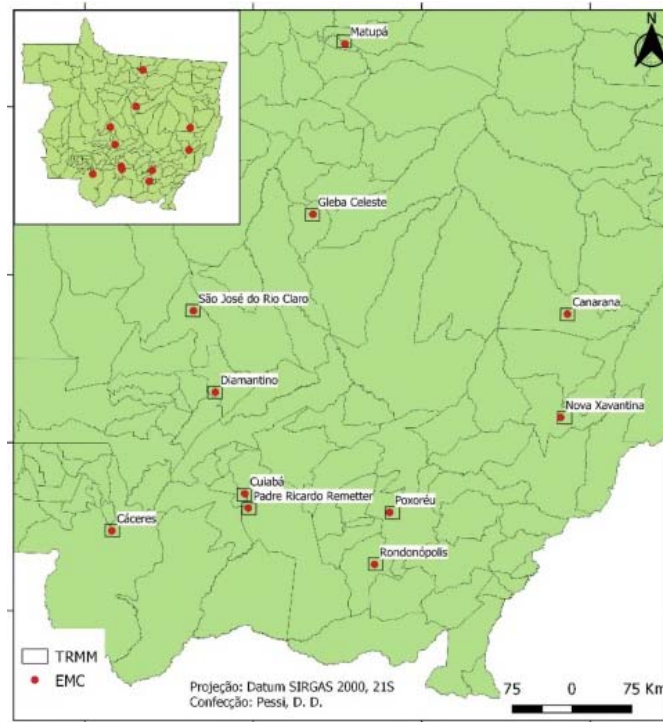


Figura 16.4. Distribuição das estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso (PESSI et al., 2019).

## 16.2. Satélite TERRA, Sensor MODIS

O satélite Terra foi lançado em 18 de dezembro de 1999 como sendo o principal satélite de observação da Terra e fazendo parte do programa *Earth Observing System* (EOS) da NASA. Destaca-se que o mesmo foi o primeiro satélite a examinar a ciência do sistema terrestre, coletando vários tipos de dados dedicados a várias áreas da ciência terrestre, juntando-se a outros satélites projetados para monitorar áreas específicas da ciência da Terra. Desde então, em conjunto com outros satélites tem trabalhado para coletar dados que levam a uma melhor compreensão geoquímica e biofísica do planeta (NASA, 2017). Os dados desse satélite começaram a ser coletados em fevereiro de 2000, levando a bordo os sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT. Na Tabela 16.1 estão as características do satélite TERRA.

Tabela 16. 1. Informações básicas do satélite TERRA (adaptado de EMBRAPA, 2020).

<b>Missão</b>	<i>Earth Observing System (EOS)</i>
<b>Instituições Responsáveis</b>	NASA
<b>País/Região</b>	Estados Unidos, Japão e Canadá
<b>Satélite</b>	TERRA (EOS-AM1)
<b>Lançamento</b>	18/12/1999
<b>Local de Lançamento</b>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>
<b>Veículo Lançador</b>	Atlas IIAS
<b>Situação Atual</b>	Ativo
<b>Órbita</b>	Polar e Heliossíncrona
<b>Altitude</b>	705 km
<b>Inclinação</b>	98,2°
<b>Tempo de Duração de Órbita</b>	98,1 min
<b>Horário de Passagem</b>	10: A.M.
<b>Período de Revisita</b>	16 dias
<b>Tempo de Vida Projetado</b>	6 a 7 anos
<b>Instrumentos Sensores</b>	ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT

O sensor MODIS foi projetado para atender os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra. Este sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades de observação e para oferecer uma cobertura global quase diária (JUSTICE et al., 2002). Os produtos gerados a partir do MODIS estão apresentadas na Tabela 16.2.

Tabela 16.2. Produtos MODIS e usos potenciais associados (adaptado de MUNDOGEO, 2004).

Balanco de Energia e Radiação da Superfície	Produtos de Vegetação e Ecologia	Cobertura e Uso da Terra
Reflectância (MOD09)	Índice de Vegetação (MOD13)	Mudanças na Cobertura (MOD12)
Temperatura da Superfície (MOD11)	Área Foliar Atividade Fotossintética (MOD15)	Cobertura Vegetal (MOD44)
Albedo (MOD43)	Produtividade Primária (MOD17)	Anomalias Termiais / Fogo (MOD14)

O MODIS pode fornecer dados de temperatura de toda a região de interesse, ou seja, da cena selecionada, além de também fornecer dados de cobertura vegetal, que é uma informação que não está disponível nas estações meteorológicas. Esses dados de temperatura e vegetação estão espacializados em toda a área que for de interesse do observador, não ocorrendo as lacunas de informação mencionadas anteriormente. Na Figura 16.5 estão especializados dados de temperatura e de cobertura vegetal para Mato Grosso.



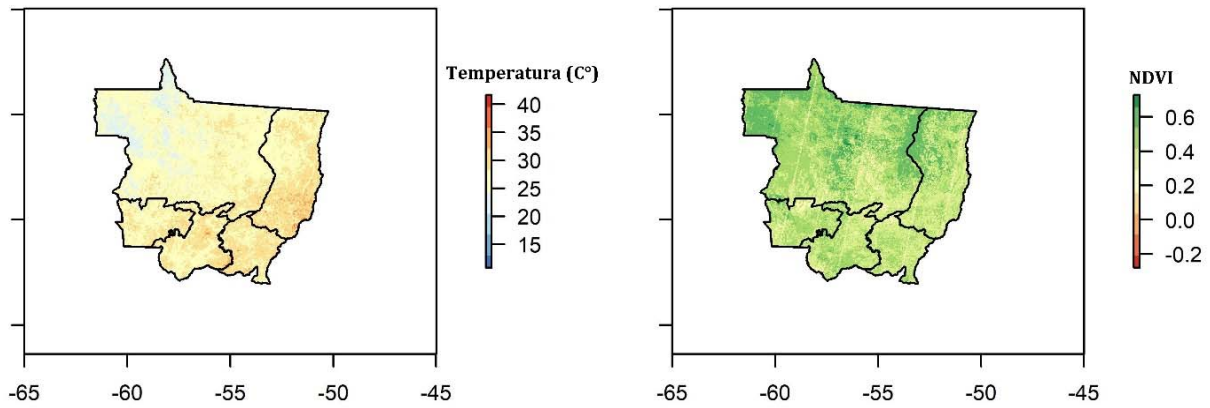


Figura 16.5. Espacialização de dados de temperatura e de cobertura vegetal provenientes do sensor MODIS para o estado de Mato Grosso no ano de 2017.

Para se obter os dados contidos na Figura 16.5, na hipótese de se utilizar apenas as estações meteorológicas, que não abrangem toda a extensão de Mato Grosso, teríamos que realizar uma interpolação das médias mensais em algum *software* de geoprocessamento a partir de rotinas como, por exemplo, o método IDW (*Inverse of Distance Weighted*). Esse método não é muito preciso, pois determina valores utilizando uma combinação linear ponderada de um conjunto de dados da amostra. Dessa forma, o peso atribuído a esse dado “criado” é uma função da distância inversa e os dados a serem interpolados devem ser aqueles de uma variável locacional dependente. Logo, o IDW parte do pressuposto de que os elementos mais próximos entre si são mais parecidos do que os mais distantes (MURARA, 2019). Isso pode não ser como a realidade do local avaliado, tendo variações muito diferentes entre pontos próximos. Na Figura 16.6 é ilustrado um exemplo de interpolação pelo método IDW a partir de dados de estações automáticas.

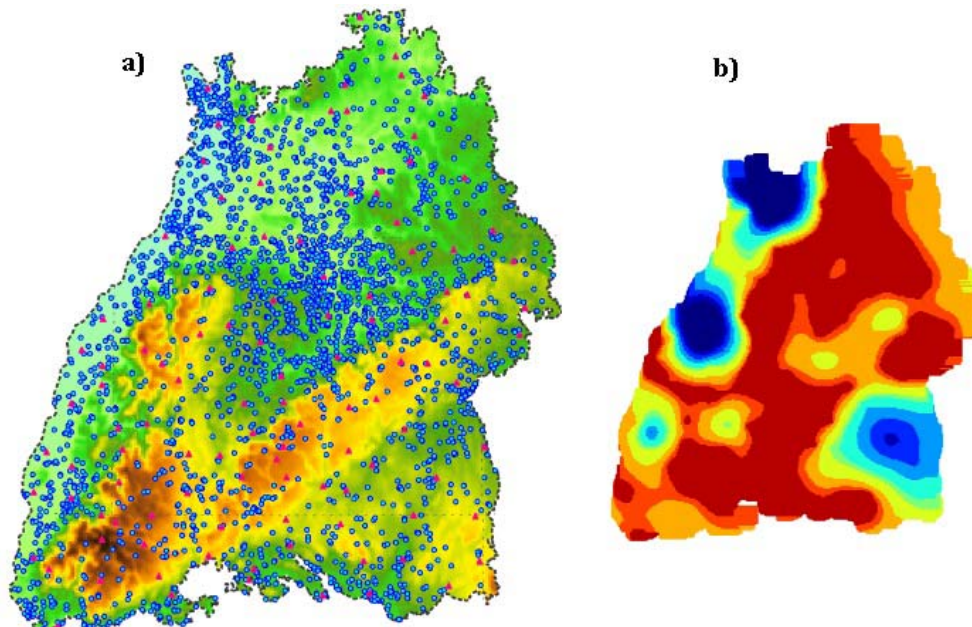


Figura 16.6. Em a) pontos de estações automáticas, Em b) interpolação (IDW) a partir dos dados pluviométricos das estações automáticas (BÁRDOSSY et al., 2020).

### 16.3. Satélite TRMM

A Missão de Medição de Chuvas Tropicais (TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*) é a primeira missão dedicada à medição de chuvas tropicais e subtropicais por meio de microondas e sensores infravermelhos visíveis e inclui o primeiro radar espacial de chuva. O TRMM foi lançado em 1997 como satélite experimental conjunto da NASA e da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão a JAXA. Assim, excedeu tão bem as expectativas, que seu status foi alterado para o de um satélite operacional, utilizado para gerar previsões. Os instrumentos embarcados monitoram nuvens, precipitações, fluxo de calor, raios e outros aspectos do ciclo da água (PASSOW, 2010). Eles podem criar o que equivale a imagens 3D e CAT-scan das tempestades (Figura 16.7).

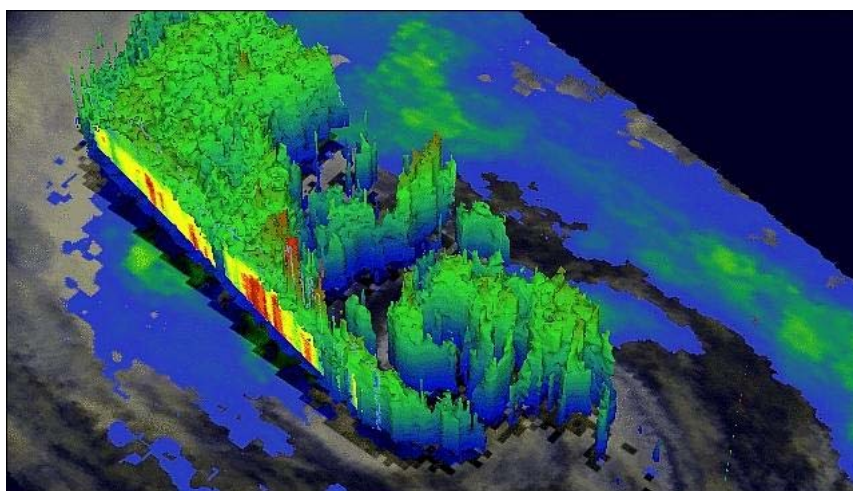


Figura 16.7. Imagem 3D da precipitação do furacão Sandy foi criada usando os dados do radar de precipitação TRMM. A imagem mostra a tempestade como apareceu em 28 de outubro de 2012. As áreas vermelhas indicam uma precipitação de 50 mm por hora (ESA, 2020; BRAUN, 2012).

O satélite TRMM operou inicialmente em uma órbita de baixa inclinação ( $35^\circ$ ), mas após agosto de 2001 sua órbita foi elevada para uma inclinação de  $50^\circ$  NS. Os principais instrumentos de medição de precipitação no satélite são o termovisor TRMM (TMI) e o radar de precipitação (PR), conforme descrito em Kummerow et al. (1998). O TRMM possui produtos de estimativas que são fornecidos pelo TMPA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*), o qual é um algoritmo que fornece estimativas de precipitação nas regiões TRMM a partir de amostragens densa de dados de microondas de alta qualidade com preenchimento usando estimativas de infravermelho calibradas por microondas (JIANG et al., 2010). Os produtos TMPA podem variar o tempo de dados disponível, variação temporal de coleta e resolução espacial. Na Tabela 18.3 estão descritos três exemplos de produtos TRMM (TMPA) disponíveis para *download* dos dados fornecidos por esses produtos.

Tabela 16.3. Especificações básicas dos conjuntos de dados dos produtos TRMM (TMPA) (adaptado de KNEIS et al., 2014; KUNDU et al., 2018).

Produto	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Cobertura Espacial	Atraso na Divulgação de Dados	Banco de Dados Iniciais
TRMM 3B42V6	3 h	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ; nlat = 400, nlon = 1440	$50^\circ$ N – $50^\circ$ S	10 a 46 dias	1998 até o presente
TRMM 3B42RT	3 h	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ; nlat = 400, nlon = 1440	$60^\circ$ N – $60^\circ$ S	3 a 9 horas	2002 até o presente

TRMM 3B43	3 h	0,25° x 0,25°; nlat = 400, nlon = 1440	50° N – 50° S	30 dias	1998 a 2013
-----------	-----	--	---------------	---------	-------------

Para os pesquisadores, o principal valor do TRMM está na coleção de imagens no sítio TRMM, que fornece vasta gama de recursos que pode ser usada para gerar dados de precipitação em qualquer área do globo terrestre. O monitoramento rotineiro de precipitação global, juntamente com dados representativos de anomalias, expande consideravelmente o entendimento do pesquisador sobre como nosso planeta se comporta. Os dados estão disponibilizados em tabelas com valores e, também, informações em arquivo *raster* (imagem), que podem ser produzidos a partir da média mensal e anual de determinada área de interesse. Os autores Pessi et al. (2019) realizaram uma estimativa dos dados fornecidos pelo satélite TRMM comparando com as estações meteorológicas convencionais do Estado de Mato Grosso e concluíram que as médias mensais possuíam forte correlação entre as duas fontes de dados, reforçando a confiabilidade dos dados fornecidos pelo satélite TRMM na estimativa de precipitação.

Assim como os dados do satélite TERRA/MODIS, os dados fornecidos pelo TRMM podem ser especializados por toda a área de interesse do observador, não ocorrendo ausência de informação como ocorre com as estações meteorológicas. Na Figura 16.7a são apresentados dados de precipitação fornecidos por estações meteorológicas automáticas interpolados pelo método IDW, e na Figura 16.7b estão ilustrados dados de precipitação de 2017 para o Estado de Mato Grosso a partir de dados do TRMM. Como pode ser observado, existe uma grande diferença na distribuição dos dados, sendo que na Figura 16.7a os dados estão menos distribuídos, fazendo com que grandes áreas estejam com o mesmo valor de precipitação, sendo essa uma deficiência do método de interpolação. Já na Figura 16.7b os dados de precipitação são distribuídos de maneiras mais uniforme. Por serem dados fornecidos pelo satélite TRMM, a uniformidade é maior, uma vez que o sensor acoplado ao TRMM (produto 3B43), possui uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°.

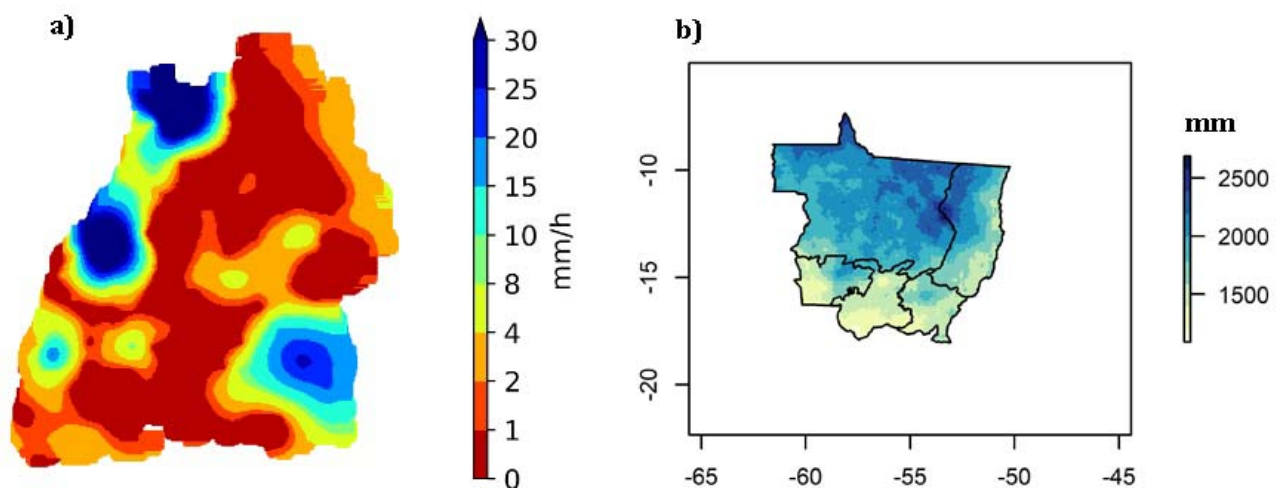


Figura 16.7. Em a. Interpolação de dados pluviométricos de estações meteorológicas do acumulado de uma hora a partir do método IDW. Em b. Espacialização das médias mensais de precipitação do ano de 2017 para o estado de Mato Grosso (BÁRDOSSY et al., 2020).

Por fim, é interessante que, para estudos de acompanhamento de mudanças climáticas, como, por exemplo, a alteração da temperatura e pluviometria, utilize-se de dados de satélites como os mencionados, que estão disponíveis para o público, visto que, como mencionamos, em determinadas regiões do Brasil não há estações meteorológicas e em outras regiões existem

muito poucas, comprometendo a precisão da informação gerada, uma vez que os métodos de interpolação não são precisos quando a estimativa real avaliada. Nesse contexto, deve-se avaliar qual recurso possui melhores resultados com baixo investimento de tempo, dinheiro e trabalho.

#### 16.4. Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao Dhonatan D. Pessi, número de processo 88887.494036/2020-0. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). Agradecemos também ao PPGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologias Ambientais) da Universidade Federal de Rondonópolis. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

#### 16.5. Referências

AMANOLLAHI, J.; KBOODY, S.; ABDULLAH, A. M.; RASHIDI, P. Effect of the influence of heat and moisture changes of desert area around the Euphrates on the recent dust storms in Iran using Landsat satellite images processing. **International Journal of Physical Sciences**, v. 7, n. 5, p. 827-833, 2012.

BANIYA, B.; TANG, Q.; HUANG, Z.; SUN, S.; TECHATO, K. Spatial and Temporal Variation of NDVI in Response to Climate Change and the Implication for Carbon Dynamics in Nepal. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 329, 2018.

BRAUN, S. TRMM Accomplishments After 15 Years. In: WATER FOR LIFE: SYMPOSIUM ON THE ROLE OF SPACE DATA, 2012, Tokyo, Japan. **Goddard Space Flight Center - NASA**. Disponível em:

[https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/museum/event/15th\\_TRMM\\_symp/slide/20121112\\_07\\_ScottBraun.pdf](https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/museum/event/15th_TRMM_symp/slide/20121112_07_ScottBraun.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

BÁRDOSSY, A.; SEIDEL, J.; HACHEM, A. E. 2020. The use of personal weather station observation for improving precipitation estimation and interpolation. **Hydrology and Earth System Sciences (HESS)**, p. 1-23. DOI: 10.5194/hess-2020-42

CHUAI, X. W.; HUANG, X. J.; WANG, W. J.; BAO, G. NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998–2007 in Inner Mongolia, China. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 1696-1706, 2013.

DAHAM, A.; HAN, D.; JOLLY, W. M.; RICO-RAMIREZ, M. Predicting vegetation phenology in response to climate change using bioclimatic indices in Iraq. **Journal of Water and Climate Change**, v. 10, n. 4, p. 835-851, 2018.

DONG, L.; JIANG, H.; YANG, L. Spatio-temporal change of vegetation coverage and its driving forces based on landsat images: a case study of Changchun City. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, p. 3, 2018.



EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **TERRA – Earth Observing System (EOS)**. Satélites de Monitoramento. 2020. Disponível em: [https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_terra.html](https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_terra.html). Acesso em: 20 jul. 2020.

ESA. European Spatial Agency. **TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)**. 2020. Disponível em: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/t/trmm>. Acesso em: 20 jul. 2020.

ESPINOSA, L.A.D.; POSADAS, A.N.; CARBAJAL, M.; QUIROZ, R. Multifractal Downscaling of Rainfall Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Andes Plateau. **PLoS ONE**, v. 12, n. 1, p. e0168982, 2017.

HANSEN, J.; RUEDY, R.; SATO, M.; LO, K. Global surface temperature change. **Reviews of Geophysics**, v. 48, n. 4, p. RG4004, 2010.

HAWKINS, E.; SUTTON, R. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. **Climate Dynamics**, v. 37, n. 1-2, p. 407-418, 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Nota Técnica n. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. 2011. 11 p. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo\\_iframe/pdf/Nota\\_Tecnica-Rede\\_estacoes\\_INMET.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf)>. Acesso em: 04 jun. 2020.

IPCC. **Climate Change: 2014**. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, eds). IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.

JIANG, S.; REN, L.; YONG, B.; YANG, X.; SHI, L. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products with surface rain gauge observations from Laohahe Basin in northern China. **Water Science and Engineering**, v. 3, n. 4, p. 405-417, 2010.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 244-262, 2002.

KNEIS, D.; CHATTERJEE, C.; SINGH, R. Evaluation of TRMM rainfall estimates over a large Indian river basin (Mahanadi). **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 11, p. 1169-1201, 2014.

KUNDU, A.; DENIS, D. M.; PATEL, N.R.; DUTTA, D. A Geo-spatial study for analysing temporal responses of NDVI to rainfall. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v. 39, n. 1, p. 107-116, 2018.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHI, J.; SIMPSON, J. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 809-817, 1998.

LI, M. J.; HOU, X. Y.; YING, L. L.; LU, X.; ZHU, M.M. SpatialTemporal Dynamics of NDVI and Its Response to Temperature and Precipitation in the Yellow River Delta during the Period 1998–2008. **Resources Science**, v. 33, n. 2, p. 322-327, 2011.

LUAN, J.; LIU, D.; ZHANG, L.; HUANG, Q.; FENG, J.; LIN, M.; LI, G. Analysis of the spatial-temporal change of the vegetation index in the upper reach of Han River Basin in 2000–2016. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 379, p. 287-292, 2018.



MAO, D.; WANG, Z.; LUO, L.; GUANG, Y. Correlation Analysis between NDVI and Climate in Northeast China based on AVHRR and GIMMS Data Sources. **Remote Sensing Technology and Application**, v. 27, n. 1, p. 77-85, 2012.

MUNDOGEO. **O sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Acqua**. 2004. Disponível em: <https://mundogeo.com/wp-content/uploads/2000/portugues/infogeo/n-32/pag32-1.gif>. Acesso em: 20 jul. 2020.

MURARA, P. Técnicas de Interpolação para a Pesquisa em Climatologia Regional e Agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 106-126, 2019.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Terra Overview**. 2017. Disponível em: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/terra/overview/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/overview/index.html). Acesso em: 05 jun. 2020.

NASANBAT, E.; SHARAY, S.; SANJAA, T.; LKHAMJAV, O.; MAGSAR, E.; TUYDENDORJ, B. Frequency analysis of MODIS NDVI time series for determining hotspot of land degradation in Mongolia. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 3, 2018.

PASSOW, M. J. TRMM-Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. **Terra Didática**, v. 6, n. 1, p. 03-08, 2010.

PESSI, D. D.; SANTOS, C. S. A.; NONATO, J. J.; DOURADO, L. G. A.; SILVA, O. P.; BASSINI, R. T.; JOSÉ, J. V. Validação das estimativas de precipitação do satélite TRMM no Estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 79-88, 2019.

SUN, H.; WANG, C.; NIU, Z.; BU, H.; LI, B. Analysis of the Vegetation Cover Change and the Relationship between NDVI and Environmental Factors by Using NOAA Time Series Data. **Journal of Remote Sensing**, v. 2, p. 204-210, 1998.

TSAI, H. P.; YANG, M. D. Relating vegetation dynamics to climate variables in taiwan using 1982-2012 NDVI3G data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 1624-1639, 2016.

UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification. **Article 2 of the Text of the United Nations Convention to Combat Desertification**. 1994. 56 p. Disponível em: [http://catalogue.unccd.int/936\\_UNCCD\\_Convention\\_ENG.pdf](http://catalogue.unccd.int/936_UNCCD_Convention_ENG.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification. **A Stronger UNCCD for a Land-Degradation Neutral World, Issue Brief, Bonn, Germany**. 2013. 15 p. Disponível em: [http://catalogue.unccd.int/225\\_Stronger\\_UNCCD\\_LDNWorld\\_web.pdf](http://catalogue.unccd.int/225_Stronger_UNCCD_LDNWorld_web.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

VIANNA, L. F. N.; PERIN, E. B.; RICCE, W. S.; MASSIGNAN, A. M.; PANDOLFO, C. Bancos de Dados Meteorológicos: Análise dos Metadados das Estações Meteorológicas no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 53-64, 2017.

WU, Z.; DIJKSTRA, P.; KOCH, G. W.; PEÑUELAS, J.; HUNGATE, B. A. Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: a meta-analysis of experimental manipulation. **Global Change Biology**, v. 17, n. 2, p. 927-942, 2011.

ZHANG, Y.; ZHAO, Z.; LI, S.; MENG, X. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China. **Geographical Research**, v. 27, n. 4, p. 745-755, 2008.

ZHAO, X.; FU, Z.; SUN, H.; OTSUKI, K.; YU, J.; WANG, G. Temporal and Spatial Variations of Vegetation Response to Dynamic Change of Meteorological Factors and Groundwater in the Heihe River Basin, China. **Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University**, v. 62, n. 2, p. 503-511, 2017.

# Monitoramento Mensal de Queimadas no Pantanal de Mato Grosso do Sul Utilizando a Plataforma *Google Earth Engine* – GEE: um exemplo didático de utilização

Alessandro Copatti<sup>1\*</sup>, Leandro Camillo de Lelles<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa.

**\*Autor correspondente:**

Alessandro Copatti, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: [alessandro.copatti@gmail.com](mailto:alessandro.copatti@gmail.com)

## 17.1. Introdução

O monitoramento de queimadas no Pantanal tem se tornado uma demanda cada vez mais urgente e necessária, especialmente no contexto das mudanças climáticas. O fogo na região tem sido utilizado especialmente nas áreas de campo nativo. Conforme Fernandes e Fernandes (2002), o efeito do fogo quinze dias após a queima resultou na elevação do pH e dos teores de P, Ca, Mg, e K nas camadas superficiais do solo. Essa disponibilização de nutrientes, mesmo que temporariamente, explica o efeito fertilizador das cinzas contribuindo para uma rápida e vigorante rebrota das espécies de gramíneas tolerantes; novas brotações são mais palatáveis e nutritivas aos rebanhos, beneficiando assim o desempenho animal nessas áreas. O fogo também é utilizado para controle de espécies não interessantes à produção. Segundo Cardoso et al. (2003), o fogo apresenta influência na composição florística em pastagens naturais no ecossistema Pantanal, influenciando na frequência e número de espécies gramíneo-lenhosas. Segundo Pott (1997), as áreas comumente queimadas no Pantanal são de ocorrência das espécies “caronal” (predominância de *Elyonurus muticus*), de “capim-fura-bucho” (*Paspalum carinatum* e *Paspalum stellatum*), de “capim-rabo-de-burro” e capim “rabo-de-lobo” (*Andropogon bicornis* e *Andropogon hypogynus*) e cerrados ralos; portanto, o fogo tem sido utilizado historicamente pelos pecuaristas da região como forma de manejo da pastagem nativa.

Num contexto histórico, o fogo foi de fundamental importância para a evolução de ecossistemas ricos em espécies herbáceas, bem como na formação e distribuição dos ecossistemas dominados por gramíneas (BOND et al., 2005, *apud* FIDELIS e PIVELLO, 2011), influenciando a biota e os processos ecossistêmicos, possuindo mecanismos que promovam sua recorrência para sua manutenção. No Brasil, a maior parte das fitofisionomias do Cerrado são tidas como ecossistemas dependentes do fogo, pois evoluíram sob sua influência e dele

dependem para manter seus processos ecológicos; o mesmo ocorre com os pantanais e campos sulinos.

As queimadas nas áreas florestadas da Amazônia deixam uma “cicatriz” no ambiente durante muito tempo, pois a vegetação não está adaptada morfo-fisiologicamente ao fogo, ou seja, a vegetação após queimar morre ou é severamente atingida, resultando em uma lenta recuperação. Nessas regiões florestadas, o monitoramento das áreas queimadas por imagens de satélite é relativamente fácil, embora ainda restem dificuldades, especialmente em relação à constante presença de nuvens nas regiões equatoriais.

Por outro lado, a vegetação de campo nativo, por ser adaptada a essa condição de fogo, apresenta grande resiliência após o distúrbio, ou seja, uma área de campo nativo apresenta um alto *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) em torno de 15 dias após o distúrbio, dependendo da umidade no solo e do ar, evidenciando a rebrota rápida das gramíneas especialmente. Portanto, quando pretendemos identificar e mensurar uma área queimada a partir de imagem Landsat, por exemplo, normalmente muitas das áreas queimadas já apresentam um alto NDVI, dificultando a identificação; isso ocorre devido ao período de revisita do Landsat, que é de 16 dias. Além disso, é comum também que não tenhamos boas imagens das épocas de queimadas, haja visto a grande quantidade de particulados liberados na atmosfera.

Outra abordagem seria utilizar os dados de focos de calor do BdQueimadas, produzido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020). Essa outra abordagem soluciona o problema da resolução temporal, já que os dados são disponibilizados várias vezes ao dia, permitindo assim acompanhar em tempo “quase real” as queimadas. Porém, a resolução espacial é baixa, normalmente com dados representando áreas relativamente grandes. Esses dados são fácil e rapidamente acessados, permitindo assim rapidez na resposta a fim de combater o incêndio, mas não permitem, por exemplo, localizar precisamente nem mapear as áreas queimadas. Também não permitem prever o risco de ocorrência de incêndio nem estimar a intensidade com que uma área viria a ser queimada. Exemplos como esses trariam novas possibilidades, não no combate ao fogo em si, quase sempre difícil naquela região, mas na elaboração de modelos de previsão para, utilizando o fogo, evitar o que tem ocorrido no Pantanal em períodos secos e chuvosos recentemente - os grandes incêndios.

Voltando à abordagem de monitorar e mapear mensalmente as áreas queimadas a partir de imagens, cabe destacar que, embora gratuitas, essas imagens são grandes e demandam um custo de tempo expressivo para escolher boas imagens (sem nuvens, o que nem sempre é possível em época de queimadas ou períodos chuvosos), adquiri-las, processá-las e gerar os mapas ou produtos. Assim, embora seja possível mapear as queimadas no Pantanal a partir da abordagem tradicional em SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) *desktop*, como ArcGIS ou QGIS, por exemplo, essa tarefa é bastante onerosa.

A fim de contornar essa dificuldade e para mapear grandes áreas em tempo “quase real”, com baixo custo de equipamento, pessoal e tempo, optamos pelo uso da plataforma *Google Earth Engine* – GEE (GOOGLE, 2020), a qual tem se mostrado muito promissora para o campo da geomática. O GEE consiste em uma plataforma *web* de processamento de dados geoespaciais baseada na infraestrutura de dados e processamento em nuvem do *Google*, mantendo bases globais de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, que são atualizadas e disponibilizadas constantemente.

Temos trabalhado no desenvolvimento de algumas soluções. Uma delas visa identificar automaticamente o desmatamento. Outra visa identificar apenas a classe “água. Outra realiza uma classificação automática supervisionada. Uma outra ainda que deverá servir para monitorar e mapear áreas queimadas no Pantanal, sendo esta que utilizaremos como estudo de caso a fim de apresentarmos a plataforma GEE.

A solução tem por objetivo não apenas identificar e mapear as áreas queimadas, mas, além disso, permitir a geração de outros produtos, como mapas de probabilidade de ocorrência e de intensidade de fogo a partir de outros dados, como climatológicos, fenológicos e outros dados do próprio usuário, como dados de campo, por exemplo. Embora o sistema ainda esteja em estágio inicial de desenvolvimento, os resultados têm se mostrado muito promissores.

Ao longo do presente trabalho mostraremos alguns resultados do programa que poderá vir a identificar e mapear, mensal e automaticamente, a classe “queimadas no Pantanal de Mato Grosso do Sul”, comparando com o que convencionamos chamar de “abordagem tradicional” em SIG *Desktop*. Por oposição, convencionaremos chamar a abordagem com GEE de “abordagem inovadora” de dados e processamento em nuvem.

## 17.2. Visão Geral da Plataforma GEE

A plataforma GEE pode ser acessada a partir do *link* <https://earthengine.google.com/>. Nele há informações gerais da ferramenta. Também há um vídeo mostrando as principais características da plataforma. Destacamos o conceito da mesma: “Uma plataforma em escala planetária para dados e análises das Ciências da Terra” (GOOGLE, 2020). A partir daí também é possível acessar os *datasets*, referentes ao catálogo de produtos; as perguntas frequentes (FAQ – *Frequently Asked Questions*); o *timelapse*, que é um vídeo que permite observar a modificação da Terra no decorrer dos últimos 35 anos; estudos de caso (*case studies*); documentação e o *sign up*, que é uma assinatura para acessar a ferramenta *code editor* (editor de códigos), que pode ser feita a partir de um e-mail do Google. Diferentemente de outros produtos do Google, para o acesso à plataforma é necessário solicitar a permissão através do preenchimento de um formulário, que é passível de aprovação ou não pelo Google. Entretanto, no portal é informado que a plataforma é gratuita para uso científico e sem finalidade comercial.

A partir do link <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/> é possível ter acesso às bases de dados, que são *ready-to-use* (prontas para usar). Estão disponíveis dados de satélites de mais de 40 anos. Pode-se procurar por categorias, como atmosfera, clima e água ou imagens. Também pode-se entrar e ver todos os *datasets*, que são centenas, incluídos *Landsat*, *Modis*, *Sentinel* e vários produtos derivados desses e de vários outros. Apenas cabe destacar que, da mesma forma que trabalhamos com imagens, poderíamos colocar em nossos modelos dados de precipitação, ventos e quaisquer outros, do catálogo ou mesmo nossos produtos, como vetores ou imagens de drones, por exemplo.

O acesso à plataforma pode ser feito a partir do link: <https://earthengine.google.com/platform/>. As principais ferramentas são o *code editor* e o *explorer*. O segundo é uma ferramenta para visualizar os resultados e realizar análises mais simples. Já o editor de códigos é um ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated*

*Development Environment - IDE*) baseada na *WEB*, para escrever e executar os *scripts*, em *javascript* ou *Phyton*. Ele foi desenvolvido para criar e rodar complexas análises de forma rápida e fácil. Entretanto, para o acesso a essa ferramenta da plataforma é necessário *login* e senha. É nessa ferramenta que está o grande poder da plataforma e no restante do trabalho apresentaremos a mesma, como ela funciona e como podemos tirar proveito, não em oposição à abordagem tradicional, mas de forma a complementar, aproveitando-se da infraestrutura Google.

Com essa ferramenta, além de criar e rodar de forma privativa nossos programas, podemos também compartilhar *scripts* com membros de uma equipe, por exemplo. Podemos também publicar nossos programas como aplicativos (APPs) baseados na *WEB*, também de forma privativa (por exemplo, quando uma equipe trabalha em conjunto) ou pública, com acesso irrestrito.

### 17.3. Visão Geral do “Code Editor” (Editor de Códigos)

Na Figura 17.1 observamos os principais elementos da ferramenta, que serão abordadas a seguir:

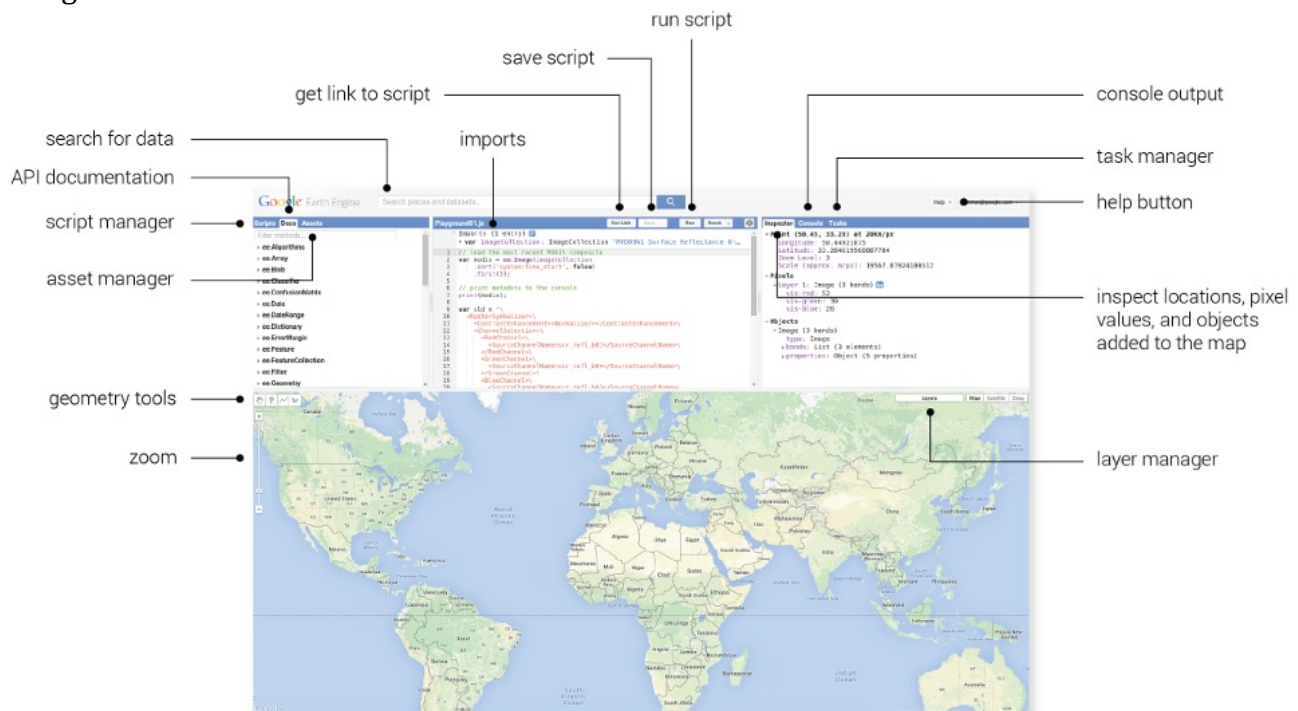


Figura 17.1. Visão Geral do *Code Editor* e principais elementos (GOOGLE, 2020).

Na parte superior da página há três quadros. O da esquerda tem três guias (Figura 17.2): *Scripts*, onde estão os *scripts* tanto da ferramenta quanto àqueles escritos pelos usuários; *Docs*, onde encontramos a documentação da ferramenta; e *Assets*, que é uma espécie de diretório interno. Todas aquelas informações, vetoriais ou matriciais do usuário que serão utilizadas nos *scripts* deverão antes ser carregadas no *asset*. Também é utilizada como um dos locais para salvar o resultado do processamento; também é possível exportar os produtos para o *Google Drive* ou *Google Cloud* e a partir daí baixá-los para nosso *desktop*.



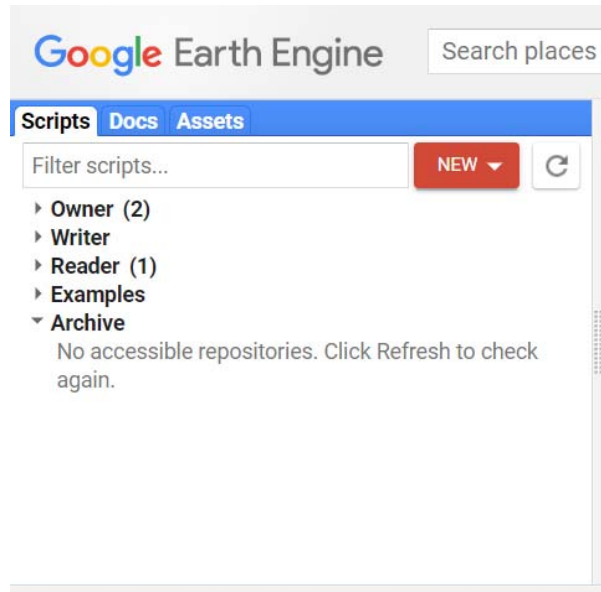


Figura 17.2. Guias *scripts*, *docs* e *assets* da Plataforma do GEE (GOOGLE, 2020).

O quadro do meio é o local para escrever os *scripts* e rodar os mesmos (Figura 17.3). O quadro da direita também tem três guias (Figura 17.4): *inspector*, utilizada para verificar valores de dados das camadas, matriciais ou vetoriais, carregadas no mapa; *console*, onde aparecerão especialmente informações de erros no processamento ou sintaxe errada no script; e *tasks*, onde aparecerão informações relativas às tarefas mais demoradas, como por exemplo, a importação ou exportação de dados e produtos.

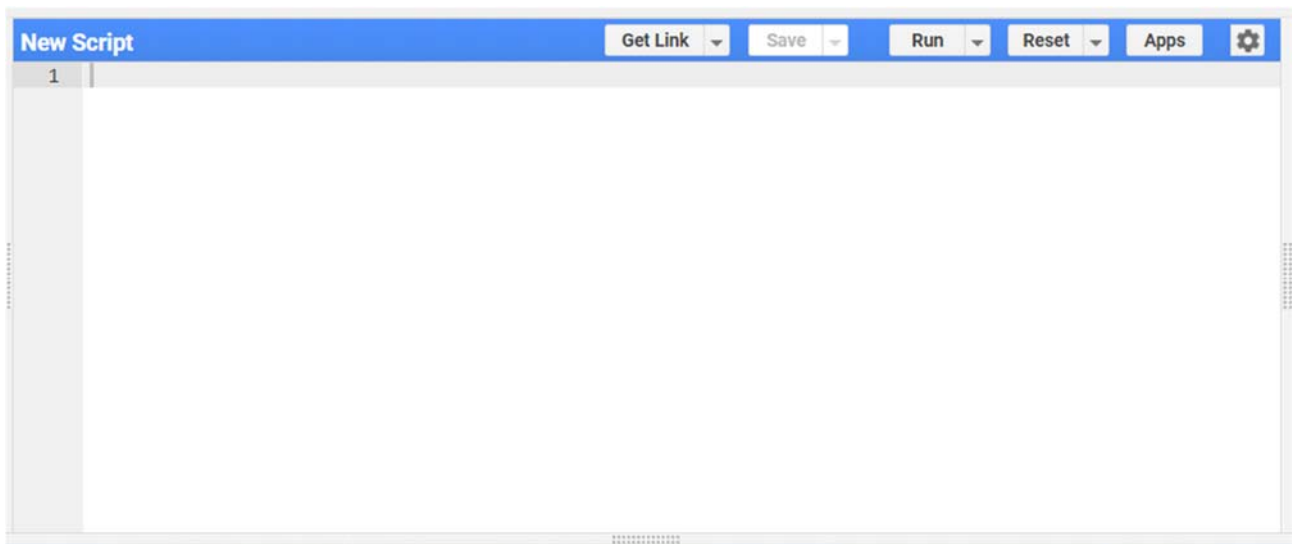


Figura 17.3. Janela para escrever e rodar os *scripts* da Plataforma do GEE (GOOGLE, 2020).

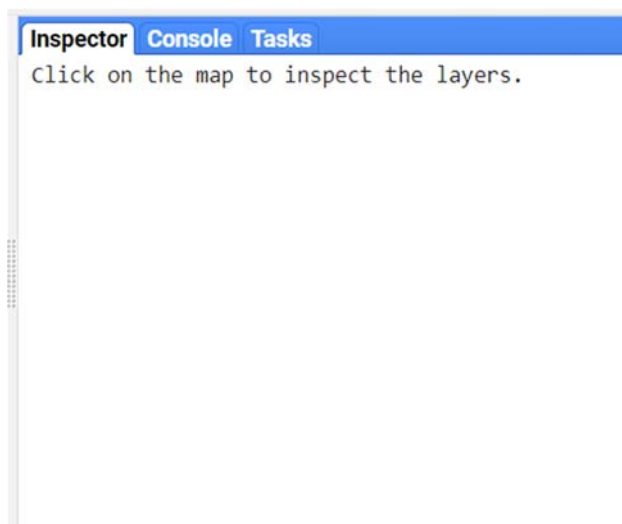


Figura 17.4. Guias *inspector*, *console* e *tasks* da Plataforma do GEE (GOOGLE, 2020).

Na parte inferior da página encontra-se o quadro contendo o resultado do processamento (o mapa) (Figura 17.5). Nele, encontram-se ferramentas de *zoom*, de criação de geometrias (pontos, linhas e polígonos) e também é possível escolher um mapa base. As ferramentas de criação de geometrias permitem, além de criar e visualizar feições sobre os mapas, também intercambiá-las com SIGs *Desktop* e ainda inserir as mesmas em novos *scripts*.



Figura 17.5. Área de visualização do resultado do processamento da Plataforma do GEE (GOOGLE, 2020).

## 17.4. Criando (e testando) um Script na Plataforma – Programando em uma Plataforma de Prototipagem Rápida e Processamento em Nuvem.

Antes de iniciar a explicação do processo de criação dos modelos e testes, vamos a um parêntese: por questões históricas, embora multidisciplinar por natureza, o campo do geoprocessamento tem sido ocupado em grande parte por profissionais das ciências da Terra, e não pelos profissionais de Tecnologia da Informação. Assim, é comum uma certa resistência à construção de programas específicos em linguagem de programação, dando-se preferência ao “apertar de botões das janelas”. No GEE não tem botão de comando, a interação com o *code editor* é apenas por meio de código. Tendo isso em mente, de certa forma, mostrando um exemplo de utilização, buscaremos desmistificar a programação em linha de código. E mais,

propor um reencontro do geoprocessamento com a Tecnologia da Informação; isso apenas para justificar nossa preferência pelo termo geomática.

Vamos ao programa (*script*), lembrando que daqui para diante estaremos utilizando o *code editor*, ou seja, todos os produtos mostrados nas figuras estão no ambiente privativo do programador. No quadro central, na guia *scripts*, criamos um *new file* e o nomeamos (podemos organizar isso em *repositories* e dentro deles em *folders*). Logo abaixo, iniciamos a construção do programa. Vejamos uma parte do código e avaliação preliminar dos resultados:

```
var                                municipios_MS                                =
ee.Collection.loadTable('users/alesandrocopatti/AREAS_ESPECIAIS_MS/municipios_MS_IBGE
_WGS84');
```

Essa parte do código cria uma variável que recebe o conteúdo vetorial, no caso um *shapefile* que previamente havia sido carregado para o *asset*. Veremos que neste caso, ela será utilizada para recortar os resultados para o Estado de Mato Grosso do Sul. Vejamos mais uma parte do código:

```
var                                PEPRN_buffer_50KM                            =
ee.Collection.loadTable('users/alesandrocopatti/Unidades_Conservacao/PEPRN_buffer_50km
_WGS84');
Map.centerObject(PEPRN_buffer_50KM, 10);
```

Nessa parte do código, além de carregar outro *shapefile* para o *script*, centralizamos o mapa no nível de *zoom* definido (que varia de 1 a 24). Até agora, nenhuma camada foi desenhada ao mapa ainda. O código para carregar os vetores ao mapa será o último a ser escrito, pois as últimas linhas de código serão as camadas superiores no mapa. O código a seguir busca no acervo do *United States Geological Survey* - USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), a coleção de imagens Landsat 8 TOA, filtra a coleção para o Estado de MS e para datas e cobertura de nuvens especificadas, e coloca esse resultado na variável “Landsat8\_C1\_T1\_TOA\_jun\_19”:

```
var Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
.filterBounds (municipios_MS) // filtra a coleção para o polígono
.filterDate('2019-06-01', '2019-06-30') // filtra para o período
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 10); //filtra para cobertura de nuvens
```

A partir daí, reproduzimos o mesmo código três vezes, criando variáveis para os meses de junho, julho e agosto de 2019. Observa-se aqui que a geração de mosaicos mensais é muito mais simples e rápida do que buscar e baixar imagens do catálogo USGS, por exemplo, e trabalhar em *SIG Desktop*. E ainda estamos falando do Estado de MS inteiro e não apenas de uma cena! Aliás, esse é outro conceito desnecessário na plataforma. Não preciso informar órbita\ponto, posso apenas carregar um polígono e buscar tudo dentro dele. Mas também é possível trabalhar com imagens individuais. Vamos a outra parte do código:

```
var                                Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19_mediana            =
Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19.reduce(ee.Reducer.median());
```

```

var Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19_mediana_clip_MS =
Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19_mediana.clipToCollection (municipios_MS);
Map.addLayer(Landsat8_C1_T1_TOA_jun_19_mediana_clip_MS,
Landsat8_C1_T1_TOA_Param_Visualizacao,
'imagem mediana de junho de 2019 - Landsat8-C1T1-TOA',false);
    
```

O bloco de comandos acima cria a variável “Landsat8\_C1\_T1\_TOA\_jun\_19\_mediana”, aplicando-se o comando *reduce*, cujo *Reducer* é *median*, depois recorta o mosaico para o Estado de MS e finalmente adiciona a camada ao mapa. Já podemos visualizar nosso primeiro produto (Figura 17.6), pois adicionamos o *layer* “imagem mediana de junho de 2019 - Landsat8-C1T1-TOA”, mas desligada (*false*). Depois de executar o programa, precisamos clicar na guia *layers* no mapa e ligar as camadas que queremos e desligar as desnecessárias. Na Figura 17.6 a *layer* foi ligada. Como na abordagem tradicional, para que a imagem possa ser melhor visualizada, é necessário ajustar os parâmetros de visualização. Inicialmente, ao passar o *mouse* sobre camada de imagem na aba *layers*, aparecerá um símbolo de engrenagem. Ao se clicar nele, será aberta a janela de configuração da visualização da imagem. Assim, empiricamente, ajustamos a imagem até obter bons resultados. Posteriormente, copiamos os valores de mínimo e máximo, gama, opacidade e as bandas que serão utilizadas na composição do mapa. O código abaixo foi utilizado em nosso programa, a fim de visualizar todos os mosaicos Landsat.

```

var Landsat8_C1_T1_TOA_Param_Visualizacao = {bands:
["B4_median","B3_median","B2_median"],
gamma: 1,
max: 0.16438055038452148,
min: 0.0388273224234581,
opacity: 1};
    
```

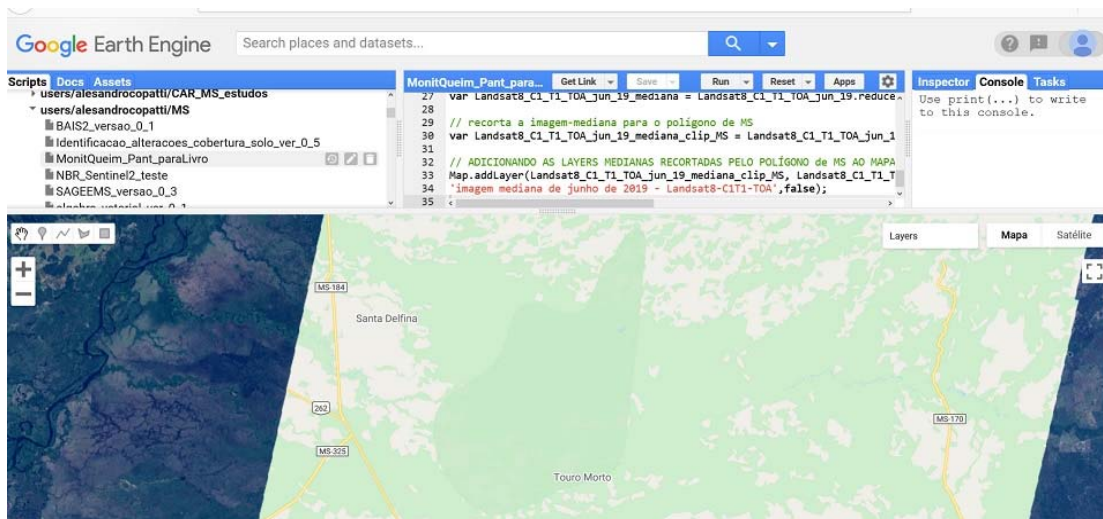


Figura 17.6. Primeiro resultado do processamento do *script*. A região central, sem imagens, significa que aí as condições do filtro não foram atendidas. Eventualmente o resultado poderia ser nulo, ou seja, nenhuma imagem seria mostrada (GOOGLE, 2020).



Podemos acompanhar a evolução do carregamento das camadas do mapa na tela pela aba *layers*. No canto superior direito dessa janela aparecem barrinhas cinzas que irão desaparecendo à medida que as camadas são carregadas no mapa. Barras de cor vermelha indicam possivelmente erro.

As Figuras 17.7 e 17.8 mostram os resultados para os meses de julho e agosto de 2019, respectivamente. Observe que em nenhum dos meses as condições do filtro foram atendidas para a área de estudo inteira. E ainda, na Figura 17.7, observa-se nuvens mesmo com o filtro. Provavelmente, embora densas, essas nuvens estejam em menos de 10% da área pesquisada daquela cena.



Figura 17.7. Imagem mediana Landsat, julho de 2019, na região do Parque Estadual Pantanal do Rio Negro – PEPRN (GOOGLE, 2020).

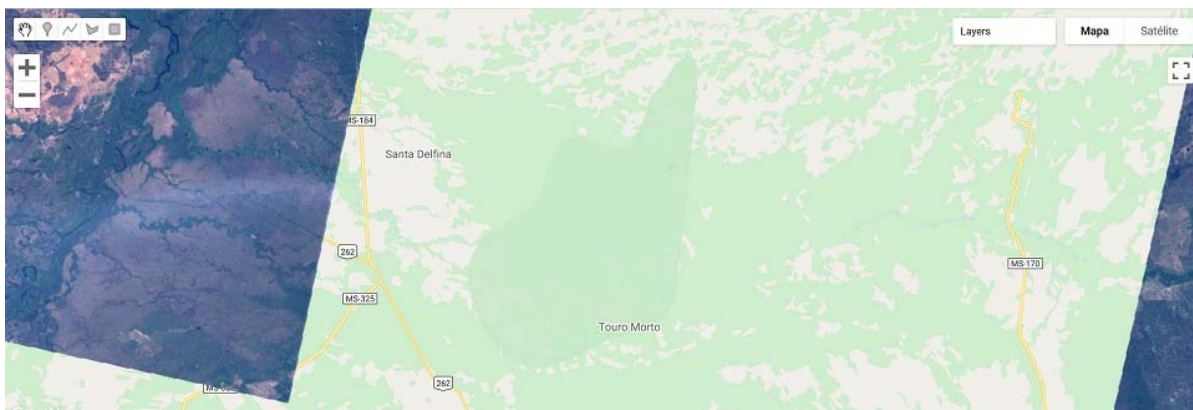


Figura 17.8. Imagem mediana Landsat, agosto de 2019, na região do PEPRN (GOOGLE, 2020).

Desses resultados, resta-nos a pergunta: mas por que não temos imagens sem nuvens de uma época que normalmente não chove no Pantanal (embora deva ser época de cheia nesse Bioma), para nenhum dos meses pesquisados? A resposta parece estar no filtro de data, juntamente com o redutor de mediana aplicado à coleção de imagens daquele período e o período de revisita (resolução temporal) do Landsat.

O Landsat produz uma imagem de um mesmo local a cada 16 dias, portanto dentro de um mês esperaríamos obter duas imagens. Assim, em mediana o resultado é que as imagens que não apareceram tinham nuvens acima de 10%. Assim, concluímos que, com Landsat 8, não foi possível mapear as áreas queimadas no Pantanal nas proximidades do PEPRN para os meses de junho, julho e agosto de 2019. Até aqui, embora com resultados pouco animadores, observe



que com menos de 50 linhas de código e alguns milésimos de segundo de processamento, temos mosaicos Landsat 8 para três meses distintos para todo o MS (embora tenhamos mostrado no mapa a região do PEPRN).

A partir desses resultados, e lembrando que Sentinel-2, MSI, tem resolução temporal de 5 dias, realizamos os mesmos filtros para este satélite (código não mostrado). Na Figura 17.9 é apresentado o resultado, uma imagem-mediana Sentinel-2, do mês de junho de 2019, na região do entorno do PEPRN. Observe que o resultado foi bem diferente dos mesmos filtros e redutores aplicados nas imagens Landsat 8. Isso poderia ser explicado, porque, no período de um mês, espera-se que Sentinel-2 tenha aproximadamente seis imagens. Assim, seria mais difícil que, em mediana, o resultado fosse nuvens, o que de fato pareceu ocorrer. Por enquanto, não entraremos nos detalhes do conceito de imagem-mediana, mas apenas no resultado desse redutor de imagens do GEE. As figuras 17.10 e 17.11 mostram, respectivamente, as mesmas imagens, para os meses de julho e agosto de 2019, evidenciando resultados satisfatórios em relação à obtenção de boas imagens-medianas mensais, e que recubram toda a área, sem ou com cobertura muito baixa de nuvens.



Figura 17.9. Imagem-mediana Sentinel-2, do mês de junho de 2019, na região do entorno do PEPRN (GOOGLE, 2020).

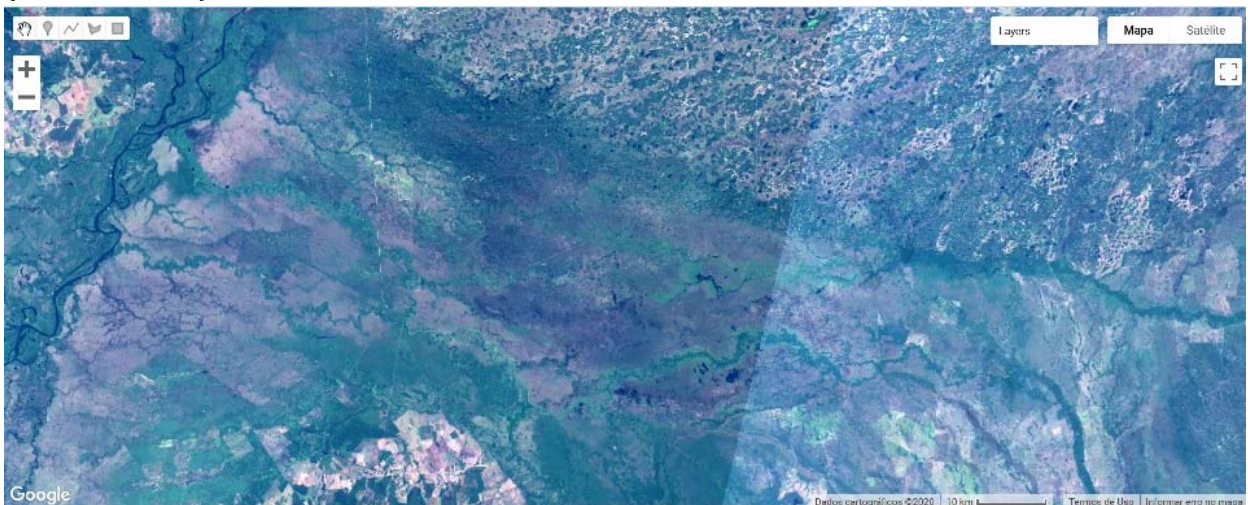


Figura 17.10. Imagem-mediana Sentinel-2, do mês de julho de 2019, na região do entorno do PEPRN (GOOGLE, 2020).





Figura 17.11. Imagem-mediana Sentinel-2, do mês de agosto de 2019, na região do entorno do PEPRN (GOOGLE, 2020).

A partir desses resultados promissores, para nossos objetivos, com imagens Sentinel-2, elaboramos mais três mosaicos, respectivamente para os meses de setembro, outubro e novembro de 2019, também com excelentes resultados. A fim de reunir mais dados em nosso *script* que pudessem servir para ajudar na interpretação, ainda visual, fizemos o *download* e carregamos no nosso programa os dados de focos de calor do BdQueimadas (INPE, 2020), para os mesmos filtros de data das imagens, ou seja, para os meses de junho a novembro de 2019. A Figura 17.12 mostra o resultado da imagem de outubro e a Figura 17.13 mostra a mesma imagem e sobre ela os focos de calor do mesmo mês. Assim, a partir daqui já dispomos de um aparato que torna possível, por exemplo, o mapeamento das áreas queimadas; porém ainda de forma manual.

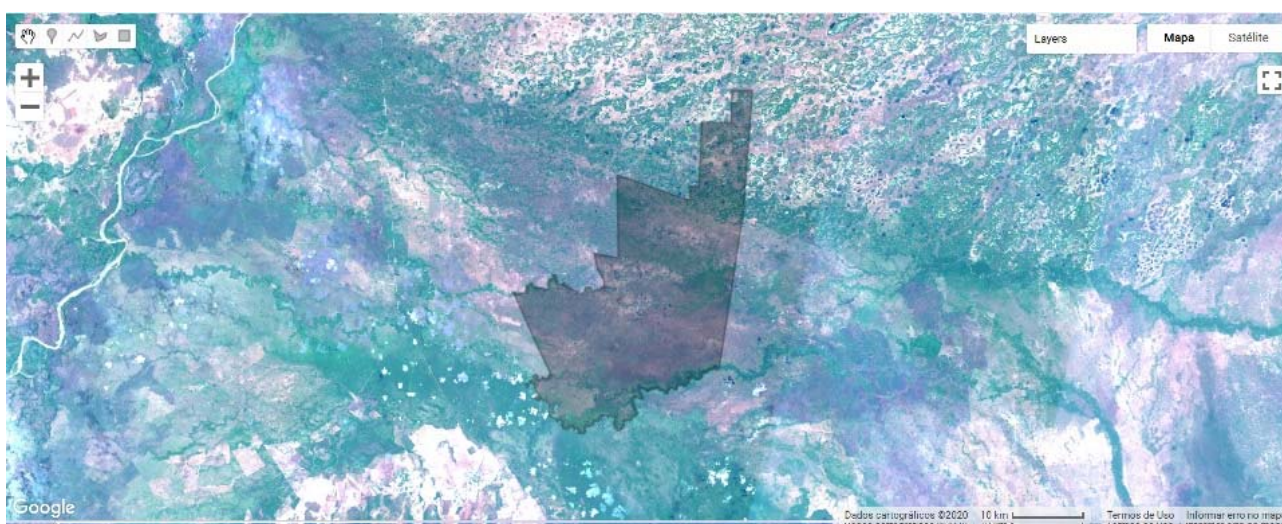


Figura 17.12. Imagem-mediana Sentinel-2, do mês de outubro de 2019, na região do entorno do PEPRN. No centro, limite do PEPRN, também importado para o *script* e adicionado como camada no mapa, que pode ser ligado ou desligado (código omitido) (GOOGLE, 2020).

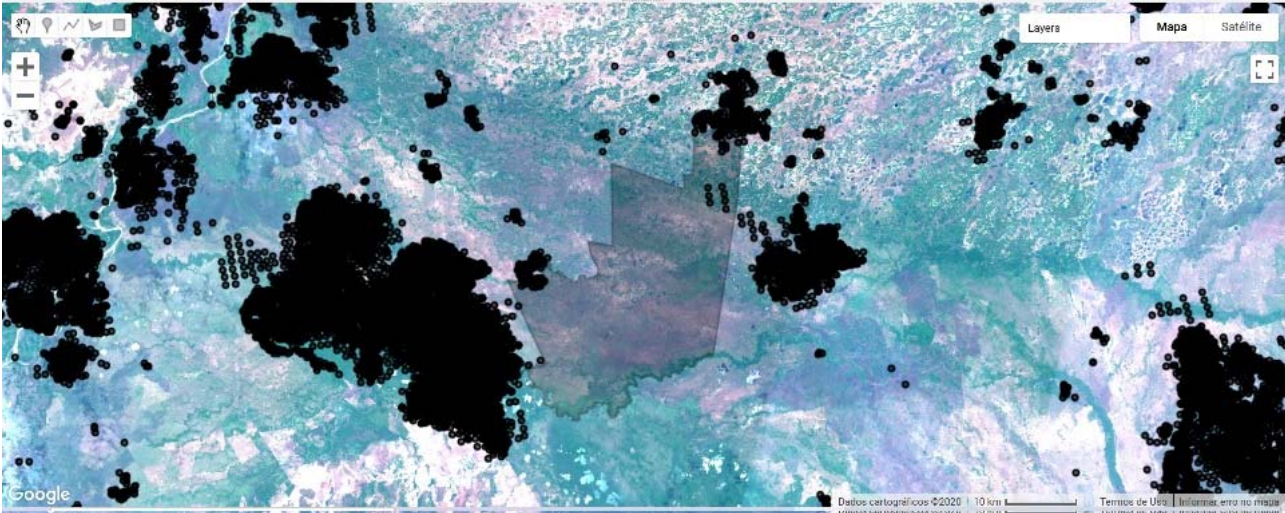


Figura 17.13. Imagem-médiana Sentinel-2, do mês de outubro de 2019, na região do entorno do PEPRN e sobre ela os pontos de focos de calor do mesmo mês, obtidos do BDQueimadas (INPE, 2020). Note que a correlação entre os focos de calor e as áreas queimadas não parece muito alta, visualmente, porém a discussão dos resultados não será aqui abordada em profundidade (GOOGLE, 2020).

Devemos reconhecer que, a despeito de até aqui termos produzido um grande banco de dados geográficos, matriciais e vetoriais, a interpretação dos dados ainda é visual. A partir de agora discutiremos a parte do programa que almeja mapear as áreas queimadas automaticamente. Lembrando que essa parte da automatização do mapeamento ainda está em início de desenvolvimento, apresentando resultados insatisfatórios, mas promissores.

## 17.5. Criação de Índices de Diferença Normalizada e Composição Colorida dos Índices de Fogo (NBR), Vegetação (NDVI) e Água (NDWI)

A partir das imagens-médianas mensais do Sentinel-2 foram calculados os índices de diferença normalizada de vegetação (NDVI), água (NDWI) e fogo (NBR), por meio da seguinte operação:

$$\text{Diferença\_normalizada} = (\text{banda X} - \text{banda Y}) / (\text{banda X} + \text{banda Y})$$

Assim, para o cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas 8 e 4 (infravermelho próximo e vermelho, respectivamente). Para o NBR foram utilizadas as bandas 8 e 12 (infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, respectivamente) e para o NDWI foram utilizadas as bandas 3 e 4 (verde e vermelho, respectivamente).

A seguir, realizou-se uma composição colorida desses índices, que é mostrada na Figura 17.14. Comparando-se as Figuras 17.14 com a 17.12, pode-se notar que na composição colorida da imagem em cores verdadeiras, áreas úmidas e queimadas aparecem em tons escuros. Na composição dos índices de diferença normalizada, fica mais nítida a distinção entre solo, água e vegetação. Entretanto, cabe destacar que os tons mais avermelhados não significam necessariamente queimadas, mas geralmente solo exposto. Em regiões de lavoura essa interpretação seria solo exposto. Também é possível observar que na região centro-sul da



imagem há algumas nuvens, que na composição colorida, aparece em tons arroxeados, confundindo nuvens com solo muito úmido.

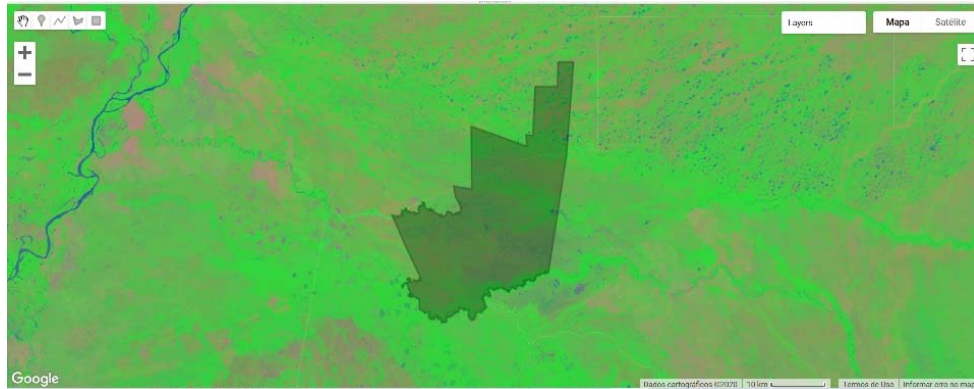


Figura 17.14. Composição colorida dos índices de diferença normalizada de fogo (*Red*), vegetação (*Green*) e água (*Blue*), para o mês de outubro de 2019, para o entorno do PEPRN. Compare com as Figuras 17.12 e 17.13 (GOOGLE, 2020).

A partir desse produto, por meio da ferramenta *inspector*, observamos os valores de NBR e NDVI dos alvos a serem mapeados nas imagens para a pretendida classe “queimada”, realizamos a extração desses valores e criamos uma variável “queimadas\_out\_19”, cujos limiares ainda devem ser melhor estabelecidos. A Figura 17.15 mostra um exemplo desse mapa. Abaixo é mostrado o código que gera o mapa de queimadas para o mês de outubro de 2019. Nele, selecionamos valores onde *red* > -0,1 e *green* < 0,3, ou seja, onde o NBR for maior do que -0,1 e o NDVI for menor do que 0,3. Esses valores são empíricos e preliminares, não servindo como referência, apenas como exemplo didático. Compare as Figuras 17.12 a 17.15.

```
var classe_queimada_out_19 = composicao_colorida_out_19.select('vis-red').gt(-0.1).and
    (composicao_colorida_out_19.select('vis-green').lt(0.3));
Map.addLayer(classe_queimada_out_19.updateMask(classe_queimada_out_19), {},
'classe queimada - outubro - 2019 ',false);
```

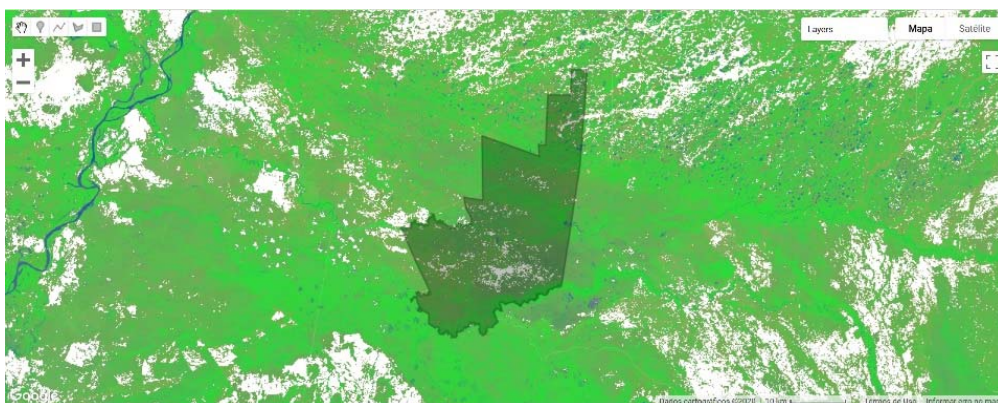


Figura 17.15. Composição colorida do NBR, NDVI e NDWI (RGB) e sobre ele as áreas em branco representam as áreas mapeadas como queimadas, para o mês de outubro de 2019. Compare com as Figuras 17.12 a 17.14 (GOOGLE, 2020).

Uma avaliação preliminar desses resultados, bem como de outros não mostrados aqui, aparentou alta correlação entre a densidade dos pontos de focos de calor e as áreas queimadas que aparecem nas imagens; porém aparenta baixa acurácia dos pontos. Inicialmente interpretaríamos isso devido à baixa resolução espacial dos satélites utilizados pelo BDQueimadas (INPE, 2020). Outra questão interessante é que na região central do PEPRN não há pontos focos de calor (Figura 17.13), mas no mapa de queimadas algumas áreas teriam sido queimadas (Figura 17.15). A partir de agora necessitaríamos validar o modelo a partir da verdade de campo.

Esperamos ter ajudado o leitor a compreender sucintamente o funcionamento da ferramenta *code editor* da plataforma GEE, utilizando-a como ferramenta complementar aos tradicionais SIG *desktop*, bem como explicitar o quase imensurável ganho de tempo em nossas análises, bem como propiciar outras formas de análises, muitas delas impossíveis ou inviáveis em SIG *desktop*. Nessa via, voltamos ao conceito de imagem-mediana.

Nesse simples exemplo, processamos todas as imagens Sentinel-2, entre junho e outubro (aproximadamente 36 cenas para cada local), separando-as por mês e gerando as imagens-medianas mensais para todo o Estado de Mato Grosso do Sul. Embora teoricamente possível em SIG *Desktop*, pensamos que seria inviável e/ou demandaríamos de recursos expressivos para a geração desse produto. O resultado desse redutor de mediana é que, mesmo nos períodos chuvosos, conseguimos imagens com baixíssima cobertura de nuvens dentro de todos os seis meses pesquisados, para todo o estado a partir de imagens Sentinel-2. Assim, embora os algoritmos da plataforma em geral sejam basicamente os mesmos dos SIGs *desktop*, as possibilidades vão muito além, necessitando assim de novas abordagens para tirarmos melhor proveito da plataforma.

Os pouco mais de 10 programas em que temos trabalhado tem nos convencido de que a plataforma GEE não é apenas mais uma poderosa ferramenta de geomática, como o QGIS, sendo que sua utilização deverá permitir um enorme salto tecnológico. Com a plataforma, todo o tempo necessário para trabalhar localmente poderá ser utilizado na interpretação e melhoria contínua dos programas e produtos gerados. Sem contar que equipamentos mais poderosos e caros também se tornam desnecessários. A grande limitação que temos observado não é devida à plataforma em si, mas à péssima qualidade da *internet* no Brasil. Então, para conseguir trabalhar satisfatoriamente basta uma boa placa de vídeo, bem como *internet* rápida. No mais, é deixar os botões de lado e encarar o código. Mas veja pelo lado positivo, você ainda poderá escolher: *javascript* ou *Phyton*.

## 17.6. Séries Temporais NDVI – Avaliação dos Valores Excepcionais em Conjunto com Imagens

Até agora neste trabalho nossa abordagem buscou identificar e mapear as queimadas no espaço geográfico, realizando um recorte temporal relativamente curto nos conjuntos de imagens e sintetizando-as. Agora buscaremos mostrar uma abordagem que pretende responder à questão “quando” ocorreram perturbações (queimadas) numa determinada região amostral, relativamente homogênea. E mais: qual foi a perturbação.



Para isso, utilizamos em conjunto uma série NDVI de 2014 a 2019, elaborada a partir da coleção de imagens Landsat 8 SR (*surface reflectance*). Lembrando que na parte anterior do trabalho, elaboramos os índices de diferença normalizada medianos a partir de outra coleção Landsat 8 (*Top of Atmosphere Reflectance - TOA.*) Naquela abordagem, os mapas representavam o NDVI mediano dentro daquele mês. Agora, de outra forma, copiamos todas as cenas que atendam ao filtro para uma nova variável, criamos uma nova banda para cada uma das cenas, calculamos o NDVI de cada *pixel* da cena e adicionamos esse valor para a nova banda. A partir daí, elaboramos os gráficos das séries temporais de NDVI para cada região amostrada. Dessa forma, cada ponto no gráfico da série temporal representa o NDVI da cena. A ausência de um ponto esperado indica que as condições do filtro de nuvens não foram satisfeitas. Isso é importante, porque a ausência de um ponto não significa que um distúrbio não ocorreu, como veremos posteriormente.

Na Figura 17.16 observamos o comportamento do NDVI em amostra de cordilheira, área que apresenta maior elevação do terreno (paleodique) e normalmente vegetação arbórea, na região da Nhecolândia. Notamos que o NDVI apresentou padrão semelhante ao longo dos anos amostrados. Porém, em 2016 e 2017 houve um decréscimo em meados desses anos; já em 2018 e 2019 os valores variaram menos, mesmo na época de seca.

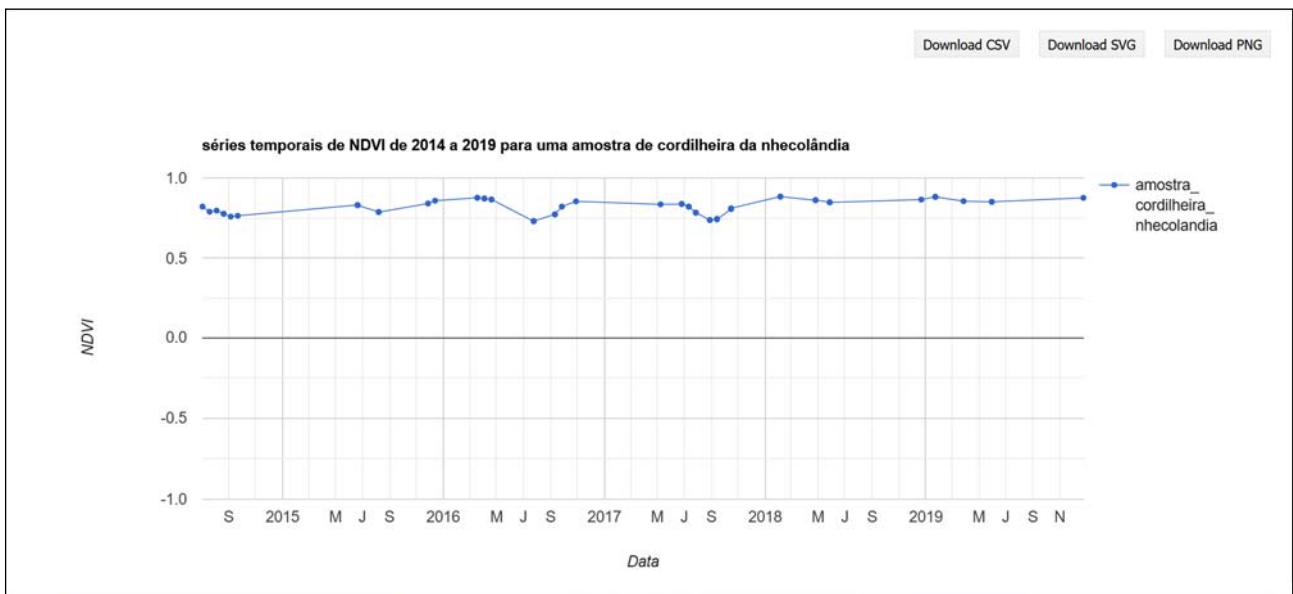


Figura 17.16. Gráfico da série temporal NDVI, de 2014 a 2019, para uma amostra de cordilheira na região da Nhecolândia. Destaca-se que para a elaboração da série foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.17 observamos o comportamento do NDVI em amostra de campo nativo, na região da Nhecolândia, próximo à amostra de cordilheira. Observamos que em 2018 e 2019 os valores oscilaram menos do que em 2014, 2016 e 2017. Essas informações sugerem que nesses anos deve ter ocorrido alguma perturbação nesse local, que poderia ser devida ao sobrepastejo pelo gado, seca ou queimada, por exemplo.

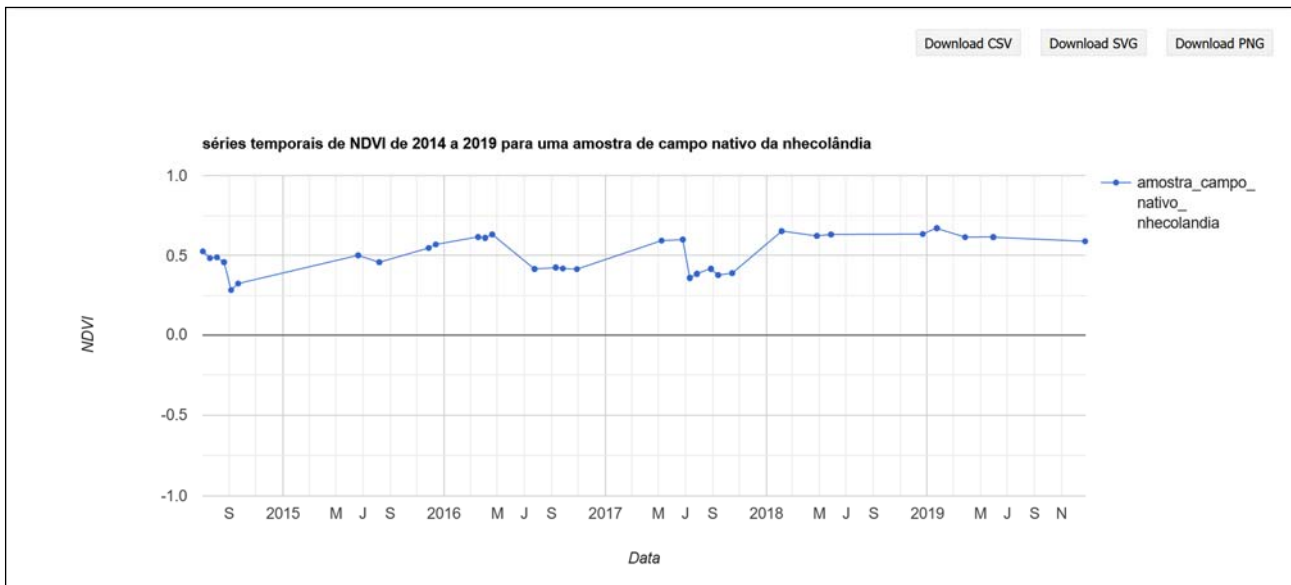


Figura 17.17. Série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de campo nativo na região da Nhecolândia. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.18 observamos o comportamento do NDVI numa amostra de Floresta Aluvial às margens do Rio Miranda. Nesse local, ao longo dos anos o padrão se manteve muito estável, sempre com valores superiores à 0,75.

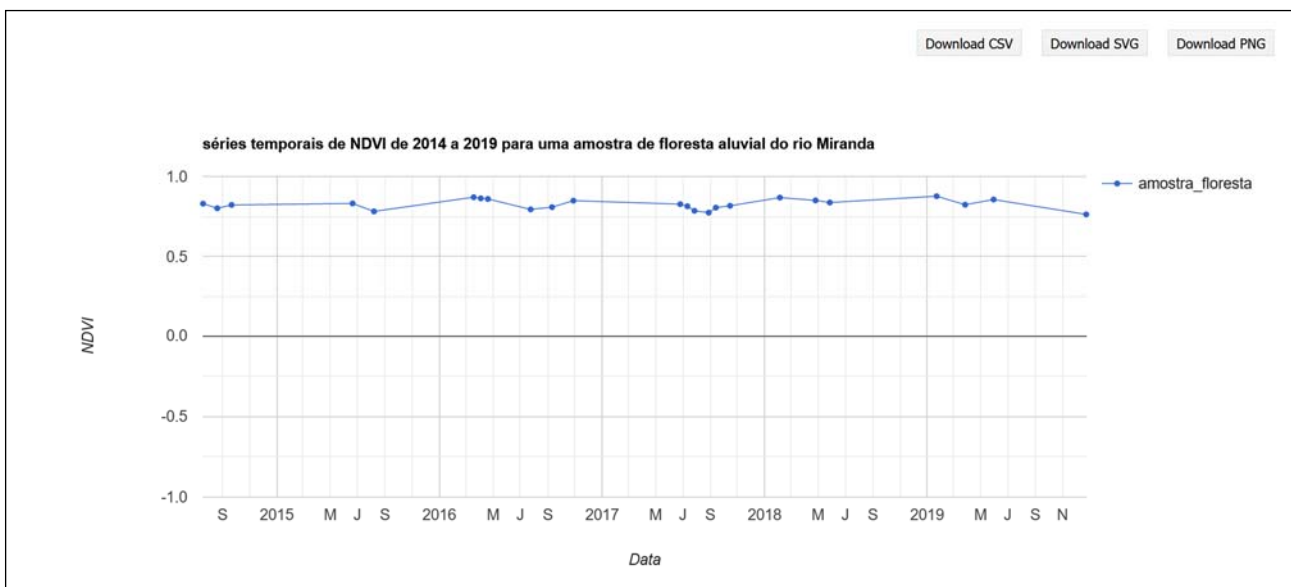


Figura 17.18. Série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de Floresta Aluvial às margens do Rio Miranda. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.19 observamos o comportamento do NDVI numa amostra de baía, lagoa, permanente ou temporária, com leito definido, característica da região da Nhecolândia. Novamente, observamos padrões semelhantes em alguns anos mas distúrbios aparentemente severos no segundo semestre dos anos de 2016 e 2017.

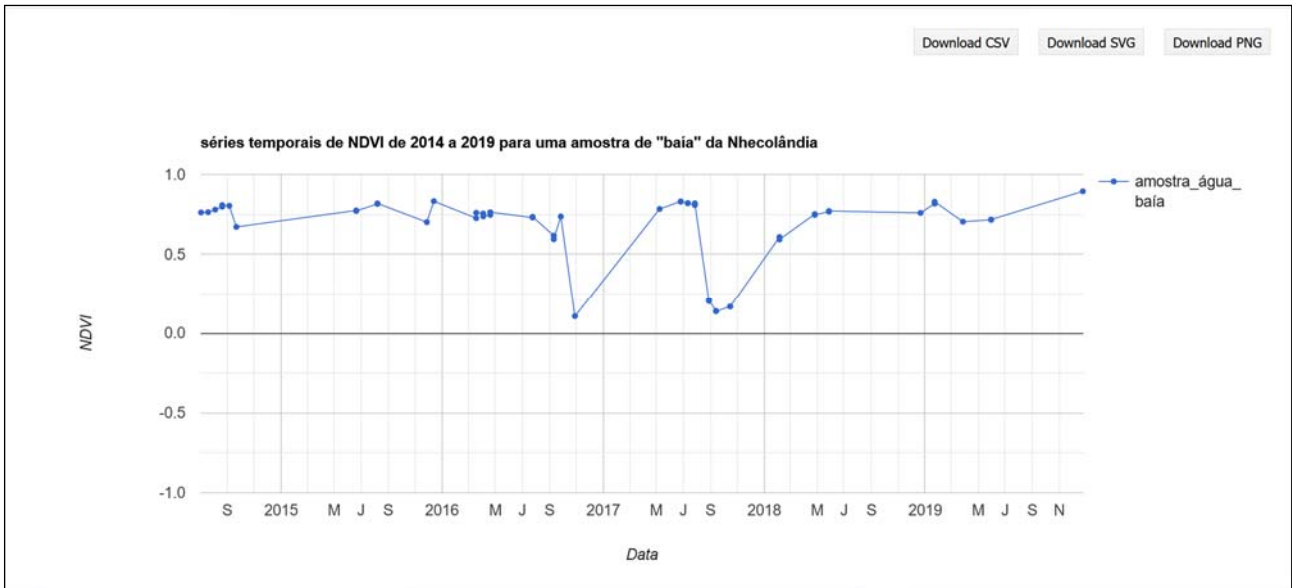


Figura 17.19. Série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de baía na região da Nhecolândia. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.20 observamos o comportamento do NDVI numa amostra de água de meandro abandonado do Rio Miranda. Notamos valores relativamente altos de NDVI, o que indica alta atividade fotossintética nessa amostra. Valores abaixo de 0,5 foram observados apenas em meados de 2017.

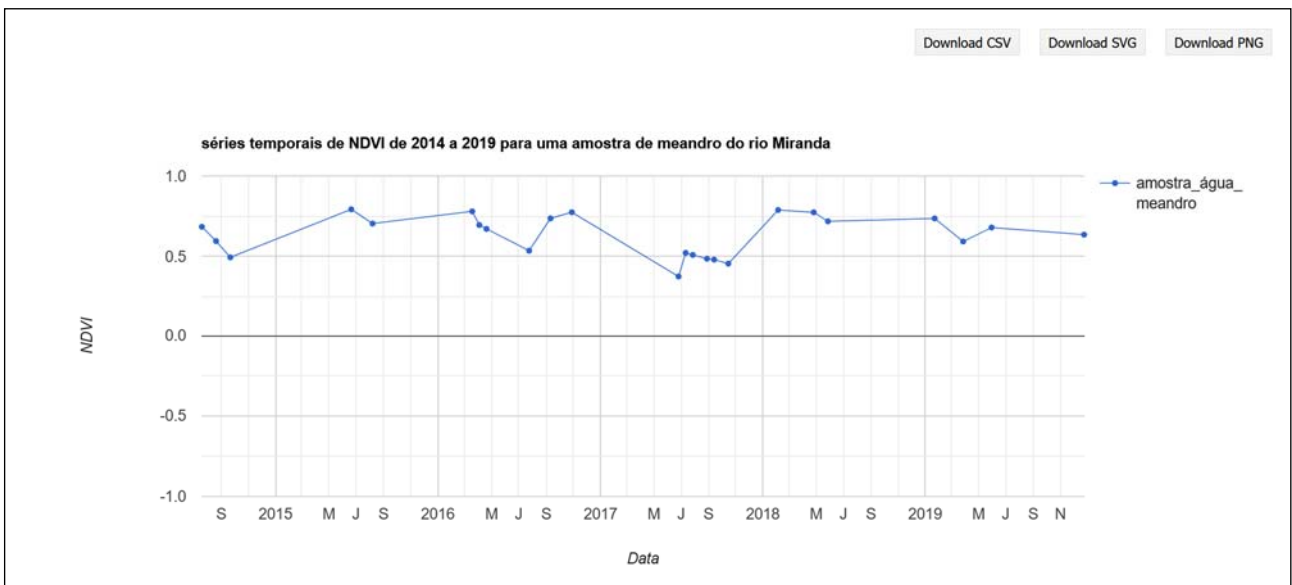


Figura 17.20. Série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de água de um meandro abandonado do Rio Miranda. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.21 observamos o comportamento do NDVI numa amostra de “Brejão do Abobral” no interior do PEPRN. Nesse local, os dados sugerem um padrão muito constante tanto ao longo do ano quanto ao longo de todos os anos da série, com valores dentro da faixa de 0,5 a 0,75, indicando moderada atividade fotossintética.

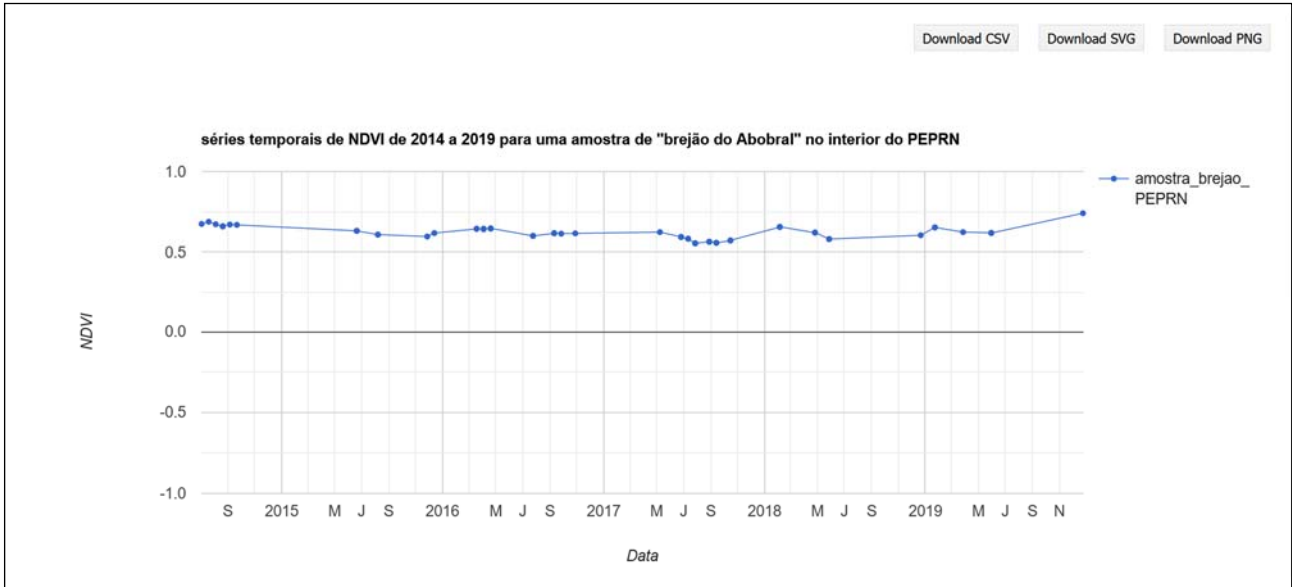


Figura 17.21. Gráfico da série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de “brejão do abobral”, no interior do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro - PEPRN. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

Na Figura 17.22 observamos o comportamento do NDVI numa amostra de campo cerrado. Porém, nesse caso, escolhemos a amostra didaticamente numa região que já sabíamos que havia sido queimada em outubro de 2019. Nesse gráfico, observamos padrão muito semelhante ao da Figura 17.21, também variando ao longo do ano entre 0,5 e 0,75; entretanto, no final do ano de 2019 o valor caiu expressivamente, para próximo de 0,25, indicando perturbação, que poderia ser devido à seca, queimada, sobrepastejo, ou mesmo nuvens, dependendo do filtro aplicado.

Após identificada provável ocorrência de distúrbio, tanto no tempo quanto no espaço, conforme observado na Figura 17.22, passamos à outra parte da pergunta, ou seja: qual teria sido o distúrbio? Para isso, voltemos às imagens. Agora criamos uma nova variável e inserimos na mesma uma imagem-mediana do mês de outubro de 2019 (mês do distúrbio da Figura 17.22) e carregamos essa imagem no mapa.

A Figura 17.23 mostra o resultado. Note que na área abaixo da região amostrada, aparentemente, a imagem sugere que o fogo está se deslocando ao contrário do sentido do vento; isso é um indicativo forte de que esse tipo de queimada parece ser antrópica. Dessa forma, seria mais fácil controlar o fogo. Notamos ainda que na região do PEPRN não há imagens. Na Figura 17.24 apresentamos imagem idêntica à da Figura 17.23, exceto pela retirada do filtro de nuvens. Nela, observamos que a região do PEPRN apresentou densa cobertura de nuvens, que provavelmente trata-se de fumaça das queimadas. Isso explica a ausência de imagens na Figura 17.23.



Figura 17.22. Gráfico da série temporal NVDI, de 2014 a 2019, para uma amostra de queimada em outubro de 2019. Destaca-se que para a elaboração da série, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

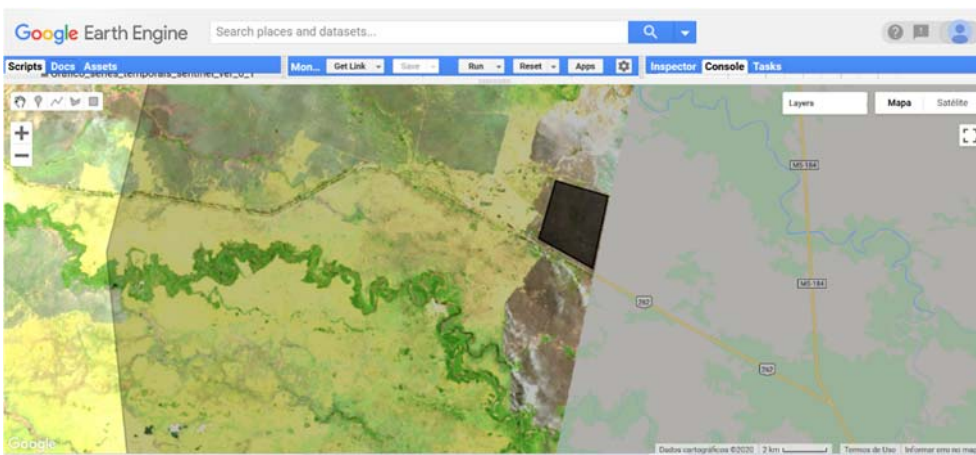


Figura 17.23. Imagem mediana Landsat R4G3B2 do mês de outubro de 2019 e sobre ela a região amostrada como queimada neste período. Destaca-se que para a elaboração da imagem, foram levadas em consideração apenas cenas Landsat 8 SR, com cobertura de nuvens abaixo de 1 % (GOOGLE, 2020).

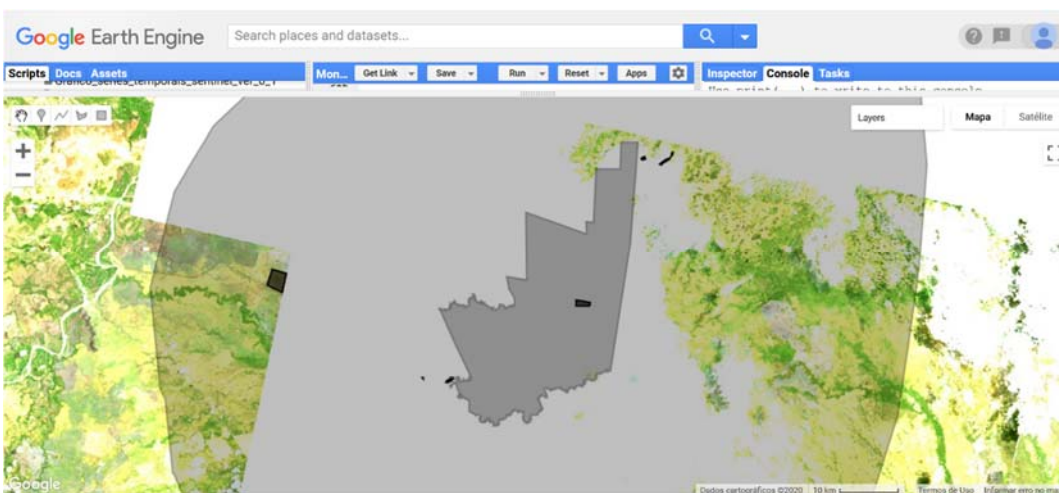


Figura 17.24. Imagem mediana Landsat R4G3B2 do mês de outubro de 2019 e sobre ela a região amostrada como queimada neste período. Nessa figura, foi retirado o filtro de cobertura de nuvens, a fim de evidenciar que nesse período a nuvem de fumaça foi intensa na região (GOOGLE, 2020).



Assim, a Figura 17.22 indicou o tempo em que ocorreu a perturbação, enquanto a Figura 17.23 responde à questão de qual foi a perturbação: e a resposta é evidente e segura. Sim, esse local amostrado queimou em outubro de 2019. E, além disso, nesse caso da Figura 17.22, nos forneceu outros elementos, como local de origem do fogo e sentido de deslocamento, além de informação aproximada do sentido do vento no momento da aquisição daquela imagem.

### 17.7. Conclusão

Finalizando esta breve exemplificação de utilização da plataforma GEE, a partir desse exemplo didático de modelagem para o que poderia vir a ser um sistema automático de monitoramento das queimadas no Pantanal de MS, concluímos que a ferramenta é extremamente poderosa, rápida e simples; com possibilidades que vão muito além da “abordagem tradicional” com SIG Desktop. Resumidamente, as principais características que destacamos são:

- Redução drástica da necessidade de equipamentos e de tempo de resposta;
- Possibilidade de localização dos fenômenos estudados mais precisa e acurada no espaço e no tempo;
- Facilidade e rapidez na obtenção dos dados e processamento dos mesmos, integrados numa mesma plataforma;
- Possibilidade de análises contínuas em tempo real, muito mais poderosas do que a geração de produtos estáticos, como os tradicionais mapas.

Análises robustas e potencialmente mais seguras e confiáveis.

Assim, acreditamos que a utilização dessa ferramenta poderá liberar o “tempo humano” para a elaboração de algoritmos e avaliação dos resultados, e não mais para tarefas repetitivas.

### 17.8. Agradecimentos

Aos nossos pais, pela vida e pela dedicação conosco. Aos nossos mestres que ao longo de nossas vidas, dentro ou fora das escolas, não mediram e não medem esforços pela educação, pela inovação e pela cooperação. Aos nossos colegas e diretores do IMASUL pelo grande apoio que tem dado em prol da melhoria, modernização e inovação da gestão ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul.

A todas essas pessoas, fica nossa gratidão, em especial ao Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho, por esta oportunidade e com quem temos uma longa relação de cooperação científica e tecnológica nas geotecnologias. Também ao Dhonatan e à Camila pela grande ajuda na construção do capítulo, com suas sugestões e críticas.

E, também, à empresa Google, pelo enorme salto científico e tecnológico que a plataforma está propiciando, especialmente no âmbito das mudanças climáticas, quando a escala é o planeta.

## 17.9. Referências

- CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G. R.; BARIONI JÚNIOR, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 747-752, 2003.
- FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. Características químicas do solo em área de pastagem nativa recém queimada no Pantanal arenoso, MS. Corumbá: **Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 36, 2002. 18 p.
- GOOGLE. **Google Earth Engine: A planetary-scale geospatial analysis platform**. 2020. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Queimadas – Programa Queimadas**. 2020. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no cerrado e campos sulinos? **Número Temático: Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas, Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 12-25, 2011.
- POTT, A. Pastagens nativas. **Tecnologias e informações para pecuária de corte no Pantanal**. Corumbá, MS: EMBRAPA-CPAP, 1997. 161 p.

# Mapeamento da Temperatura Superficial Terrestre (TST), com Base em Imagem de Satélite: caso da área urbana de Mossoró/RN

Wesley Kevin Souto do Vale<sup>1\*</sup>, Marco Antonio Diodato<sup>2</sup>, Alfredo Marcelo Grigio<sup>3</sup>, Ana Luiza Bezerra da Costa Saraiva<sup>4</sup>, Luiz Tavernard de Souza Neto<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, <sup>2</sup>Doutor em Ciências Biológicas pelo Programa de Pós-Graduação Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, <sup>3</sup>Doutor em Geodinâmica e Geofísica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, <sup>4</sup>Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo, <sup>5</sup>Mestre em Ciências Naturais pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

**\*Autor correspondente:**

Marco Antonio Diodato, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.  
E-mail: diodato@ufersa.edu.br

## 18.1. Introdução

O Nordeste brasileiro possui diferentes condições climáticas que, influenciadas pelas mudanças ocorridas nos fatores que atuam sobre clima, tais como aquecimento global, efeito estufa, desmatamento de mata nativa, entre outros fenômenos, potencializam a ocorrência de diferentes impactos sobre a natureza e os seres humanos. Assim, nas últimas décadas, os estudos que envolvem a temática do clima urbano vêm ganhando espaço de discussões, a exemplo disso, tem-se a pesquisa de Sampaio (1981), um dos primeiros trabalhos desenvolvidos nessa região do Brasil, entretanto o estudo em médias e pequenas cidades continuam insuficientes.

A região semiárida do Brasil apresenta uma série de características, sendo as principais: a má distribuição das chuvas, bem como altas temperaturas, com a estação do ano primavera (entre setembro e novembro), caracterizada por ser um período quente e seco, e a estação do ano outono (entre março e maio), caracterizada por ser mais chuvosa (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O Município de Mossoró está localizado na mesorregião chamada Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte. Está localizado no semiárido brasileiro, caracterizando-se por apresentar altas temperaturas ao longo do ano, bem como baixos índices de pluviosidade.

Tendo em vista tal contextualização, o trabalho objetiva compreender a influência da temperatura superficial para formação das ilhas de calor superficial, entender a ação dos corpos hídricos na dinâmica da temperatura terrestre e conhecer o papel da vegetação urbana para identificar a Temperatura Superficial Terrestre (TST) na área urbana de Mossoró.

## 18.2. Caracterização da Área de Estudo

O Município de Mossoró (Figura 18.1) encontra-se na mesorregião conhecida como Oeste Potiguar, limitando-se com os municípios de Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Assú, Upanema, Governador Dix-sept. Rosado, distante da capital do estado, Natal, a 290 km (IBGE, 2019).

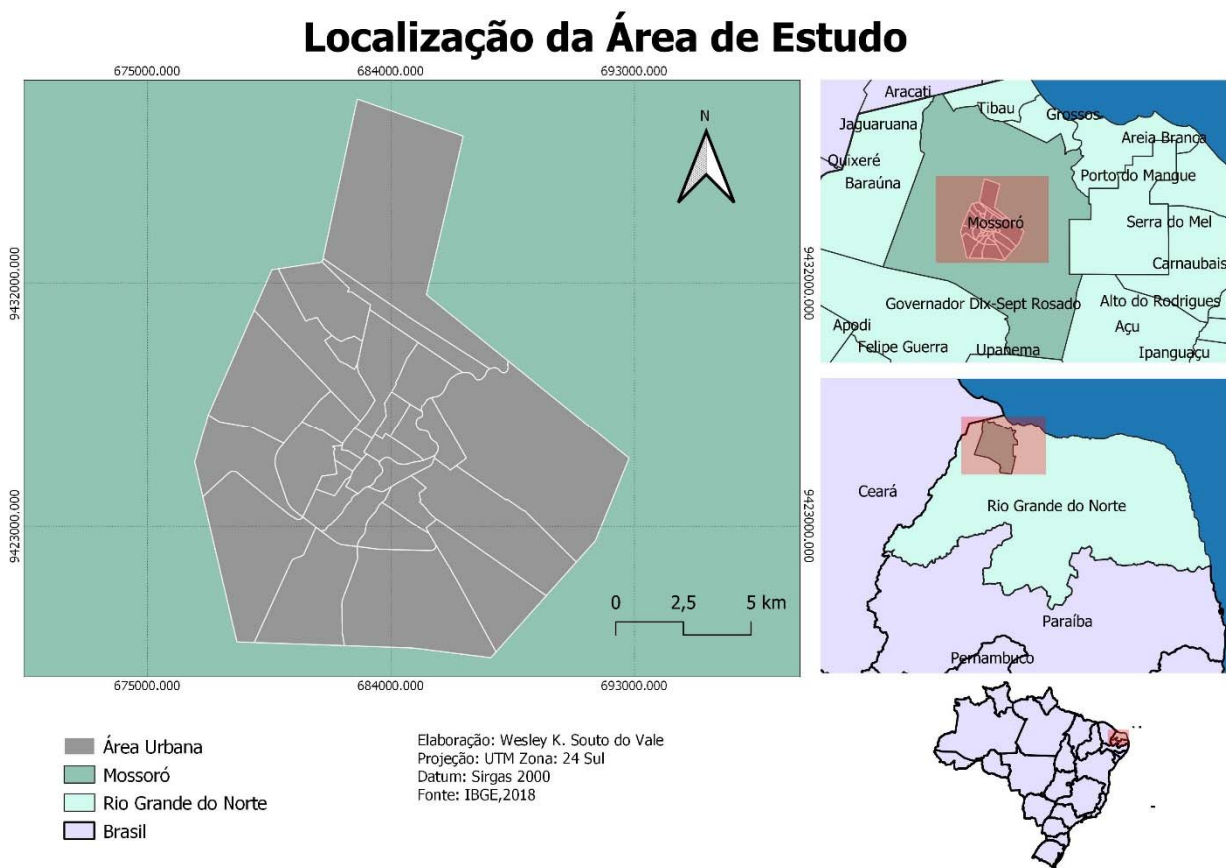


Figura 18.1. Área de estudo localiza-se no Estado do Rio Grande do Norte, Município de Mossoró, com a área urbana de Mossoró e divisão por bairro.

Mossoró possui área territorial de 2.136,196 km<sup>2</sup>, dos quais 160 km<sup>2</sup> correspondem à área urbana. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) apresenta população estimada em 302.800 habitantes, sendo 91,31% urbana e 8,69% rural, e possui densidade demográfica concentrada na sua área urbana de 123,76 hab./km (IBGE, 2010).

As características climáticas de Mossoró sofrem influência da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) e das massas de ar equatoriais atlânticas e, segundo Saraiva (2014), apresenta anualmente altas temperaturas e pequenas amplitudes térmicas causadas pela significativa quantidade de radiação solar anualmente, bem como por possuir uma intensa insolação. As chuvas em Mossoró estão concentradas entre os meses de março e abril tendo os meses mais secos entre agosto e novembro. A média pluviométrica anual é de 772,7 mm, sendo

abril o mês mais chuvoso, com média pluviométrica de 180,1 mm, e outubro o mês mais seco, como média de 2,3 mm (SARAIVA, 2014).

### 18.3. Metodologia

Este trabalho está segmentado em etapas, as quais facilitarão a compreensão do delineamento da pesquisa, análise e apresentação dos resultados e do mapa de Temperatura da Superfície Terrestre, tornando possível a identificação das áreas passíveis à formação e consolidação de ilhas de calor a partir das características apresentada em cada bairro.

A seguir apresentam-se, sinteticamente, os passos para a realização deste trabalho:

1) Fundamentação teórica, documental e cartográfica: compreende o levantamento da literatura e informações preliminares de materiais cartográficos, imagens de satélite e dados secundários, disponibilizados pelo Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT), da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN);

2) Processamento de dados: etapa de utilização de *software* para o processamento das informações obtidas em campo, geração de tabelas e construção dos resultados;

3) Geração do Mapa de Temperatura da Superfície Terrestre: composto pelo processo de geração da carta de temperatura superficial, juntamente com a sobreposição de dados de temperatura com a delimitação dos bairros, os quais darão a possibilidade de identificar possíveis ilhas de calor na área urbana;

4) Resultados: contempla a geração, interpretação e discussão final dos dados gerados nas etapas anteriores.

Desses passos dá-se destaque aqui para o processamento de dados propriamente.

Foi utilizado como suporte o *software* de código aberto QGIS versão 3.10.7 'A Coruña' (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019), para o pré-processamento e processamento da imagem de satélite, juntamente com todo o processo de organização, geração e interpretação dos dados utilizados neste trabalho.

A imagem de satélite (órbita 216, ponto 63) foi adquirida do Serviço de Levantamento Geológico Americano, com data de passagem no dia 6 de junho de 2018, com o horário central 12h40 (UTC). Foi usada a banda 10 do satélite Landsat 8, que corresponde à faixa infravermelho termal (10.6 – 11.19  $\mu\text{m}$  – micrometro), obtida pelo sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), com resolução espacial de 100 metros e redimensionada para 30 metros (USGS, 2018).

A imagem infravermelha termal (banda 10) foi reprojetada com auxílio do *software Gdalwarp* (GDAL SOFTWARE, 2019) junto com o *software OSGeo4W Shell* (OSGEO, 2019), com o uso do código “for %i in (\*.tif) do gdalwarp -t\_srs EPSG:4326 %i %~ni.tif” como mostra a Figura 18.2.



```

Administrador: OSGeo4W Shell - gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10.TIF LC08_L1TP_216064_2019070...
- done.
C:\Users\wayne\Downloads>for %i in (*.tif) do gdalwarp -t_srs EPSG:4326 %i %~ni_.tif

C:\Users\wayne\Downloads>gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10.TIF LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10_.tif
Creating output file that is 7620P x 7769L.
Processing LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10.TIF [1/1] : 0...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100
- done.

C:\Users\wayne\Downloads>gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10.TIF LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10_.tif
Creating output file that is 7610P x 7769L.
Processing LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10.TIF [1/1] : 0...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100
- done.

C:\Users\wayne\Downloads>for %i in (*.tif) do gdalwarp -t_srs EPSG:4326 %i %~ni_.tif

C:\Users\wayne\Downloads>gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10.TIF LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10_.tif
Processing LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10.TIF [1/1] : 0...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100
- done.

C:\Users\wayne\Downloads>gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10_.tif LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10_.tif
Creating output file that is 7620P x 7769L.
Processing LC08_L1TP_216064_20180606_20180615_01_T1_B10_.tif [1/1] : 0...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100
- done.

C:\Users\wayne\Downloads>gdalwarp -t_srs EPSG:4326 LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10.TIF LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10_.tif
Processing LC08_L1TP_216064_20190625_20190705_01_T1_B10.TIF [1/1] : 0

```

Figura 18.2. Tela do OSGeo4W SHELL. Fonte: OSGeo4w (OSGEO, 2019).

Logo em seguida, foram aplicados parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância baseada na Equação 20.1, com o auxílio da calculadora *raster* do QGIS 3.10.7 'A Coruña' (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019).

$$\text{Equação 20.1: } L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Onde:

- Lλ: Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts (m<sup>2</sup> sr μm);
- ML: Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;
- AL: Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000;
- Qcal: Valor quantizado calibrado pelo pixel em NC = Imagem banda 10.

Em seguida, foi realizada a conversão dos dados de radiância para temperatura em Kelvin, fundamentado na Equação 20.2 disponibilizada pelo Serviço Geológico Americano.

$$\text{Equação 20.2: } T = K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1)$$

Onde:

- T: Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);
- K2: Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K);
- K1: Constante de calibração 1 = 774.89 (K);
- L λ: Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts (m<sup>2</sup> sr μm).

Os produtos desses processos foram subtraídos pelo valor absoluto (273,15), dando origem à seguinte fórmula, que foi inserida na calculadora *raster* do QGIS 3.10.7 'A Coruña' (Figura 18.3):  $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * "Banda_10.tiff" + 0.10000) + 1)) - 273.15$ , gerando assim o *raster* de temperatura de superfície em graus Celsius (°C).

Posteriormente, a imagem foi vetorizada a fim de se obter uma melhor representação especializada dos dados. Logo, estes foram transferidos para uma planilha com auxílio do *Plugin Estatística Por Zona* no QGIS 3.10.7, no qual se calculou os parâmetros Temperatura Superficial Terrestre (TST) mínima, máxima e média e, por fim, esses dados foram cruzados com dados das delimitações dos bairros de Mossoró.

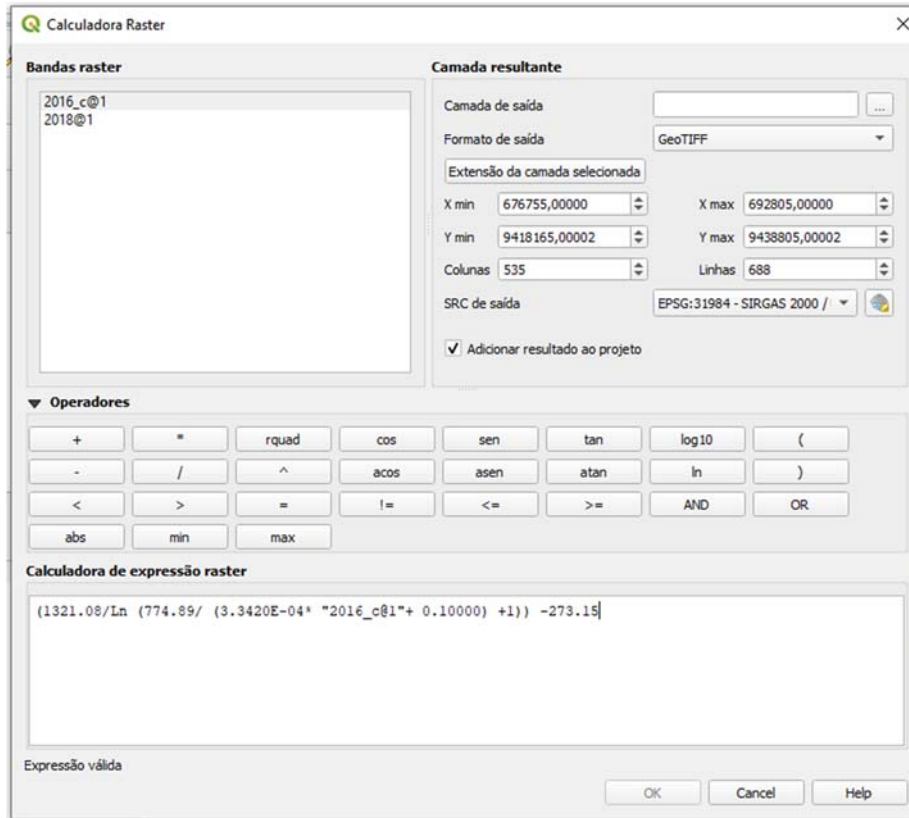


Figura 18.3. *Layout* do QGIS e sua calculadora raster. Fonte: QGIS versão 3.10.7 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019).

## 18.4. Mapeamento da Temperatura da Superfície Urbana

Os dados resultantes mostram que a temperatura da superfície, para a área urbana de Mossoró, apresenta valores que variam de 23,6°C (menor valor da mínima) a 31,8°C (maior valor da máxima), com amplitude de 8,2°C (Tabela 18.1).

Na tabela os dados estão organizados de maior para menor valor médio e a escala de cores representa o gradiente de temperatura entre os bairros, cujas cores variam do verde (temperaturas menores) ao vermelho (temperaturas maiores), passando pelo amarelo (temperaturas intermediárias).

Tabela 18.1. Temperatura da superfície (mínima, máxima e média, em graus centígrados), do ano de 2018, discriminado por bairro, da área urbana de Mossoró-RN. O gradiente de cores representa o gradiente de temperatura do solo organizado de maior valor para menor.

Bairro	2018		
	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)	Temp. Média (°C)
BOM JARDIM	28,2	29,7	29,0
BOA VISTA	27,5	29,5	28,9
DOZE ANOS	27,2	29,6	28,6
ALTO DE SÃO MANOEL	25,6	30,1	28,6
LAGOA DO MATO	25,6	29,4	28,3
ALTO DA CONCEIÇÃO	25,0	29,7	28,2
NOVA BETÂNIA	26,3	29,9	28,2
MONSENHOR AMÉRICO SIMONETE	26,4	29,7	28,0
CENTRO	24,6	30,0	27,9
SANTO ANTÔNIO	25,1	30,4	27,8
PLANALTO 13 DE MAIO	25,1	30,2	27,6
AEROPORTO	24,9	30,0	27,6
BARROCAS	25,0	29,4	27,6
PAREDÕES	24,5	30,6	27,3
BELO HORIZONTE	24,3	29,3	27,3
ABOLIÇÃO	24,6	30,2	27,1
SANTA DELMIRA	24,6	29,5	26,8
PINTOS	24,8	28,8	26,5
REDENÇÃO	23,8	29,0	26,4
ILHA DE SANTA LUZIA	24,6	29,1	26,3
RINCÃO	23,8	31,7	26,2
BELA VISTA	24,4	31,8	26,2
ALTO SUMARÉ	23,9	30,7	25,8
PRESIDENTE COSTA E SILVA	23,7	29,5	25,8
DIX-SEPT ROSADO	24,1	29,4	25,6
DOM JAIME CÂMARA	23,8	29,9	25,6
SANTA JÚLIA	23,9	29,9	25,5
ALAGADOS	24,1	28,5	25,4
BOM JESUS	23,9	29,2	25,4
ITAPETINGA	23,6	29,4	24,6
<b>AMPLITUDE</b>	<b>4,6</b>	<b>3,3</b>	<b>4,4</b>

Ao se analisar as temperaturas da superfície mínimas, máximas e médias, em relação à amplitude, a diferença entre o maior e o menor valor é de 4,6°C, 3,3°C e 4,4°C, respectivamente. Observa-se, então, que a amplitude das temperaturas mínimas é superior à das temperaturas máximas, isso, provavelmente, está relacionado a como reage a temperatura frente aos diferentes tipos de cobertura e usos da terra que compõem a superfície da área em foco, seja área construída, seja solo exposto ou com cobertura vegetal, já que, segundo Pires e Ferreira (2014), a temperatura de superfície é a relação entre o fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo.

A espacialização dos dados pode ser visualizada na Figura 18.4, discriminados por bairros de Mossoró. A taxa de densidade demográfica de Mossoró é de 123,76 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2019), no entanto, no contexto da cidade há disparidades na sua ocupação. O bairro Itapetinga é o que apresenta o menor número de domicílios da cidade: 13, segundo censo de 2010 (IBGE, 2010) e, provavelmente por isso mesmo, o bairro também apresenta o menor valor de temperatura média superficial. Destaca-se que nesse bairro está instalada a fábrica de cimento Nassau – Unidade Itapetinga, que mantém uma boa cobertura vegetal em uma grande área ao redor da fábrica como parte da sua política ambiental, o que impacta diretamente nos valores de temperatura da superfície levantados neste trabalho.

No outro extremo, tem-se o bairro Abolição, com 5.050 residências em uma área menor que o bairro Itapetinga. Esse bairro, junto com os mais próximos do centro, apresenta alta densidade urbana influenciando diretamente nos valores médios de temperatura superficial, como pode ser constatado na Figura 18.4 em cores mais avermelhadas.

Os demais bairros periféricos registraram temperaturas superficiais menores em relação ao centro e seus bairros periféricos, por serem áreas ainda em fase de expansão urbana, com situações típicas dessas áreas, como será visto mais adiante.

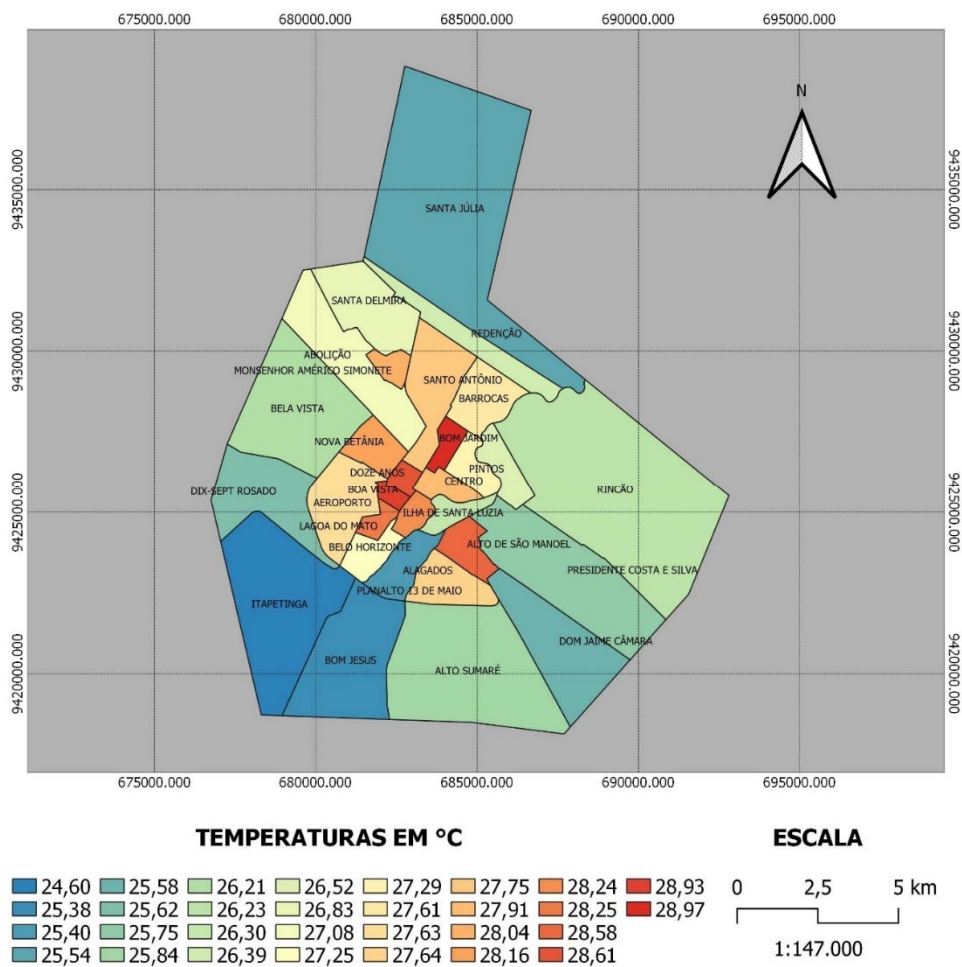


Figura 18.4. Espacialização da temperatura superficial terrestre média, em junho de 2018, discriminado por bairro de Mossoró-RN.

Contudo, para um melhor entendimento desses resultados é necessário colocá-los, com outra forma de apresentação, no espaço da cidade, o que auxilia no entendimento de como os

elementos da cidade interferem na temperatura do solo, como pode ser visualizado na Figura 18.5.

As temperaturas de solo da área urbana de Mossoró, para o mês de junho de 2018, indicam que as áreas de maior temperatura correspondem aos bairros mais urbanizados. Partindo desse pressuposto e, refletindo sobre as temperaturas superficiais dos ambientes urbanos, Gartland (2010) coloca que os locais com pavimentos contribuem com o aumento da temperatura, uma vez que, elas se aquecem sob o sol e emanam para o seu redor a energia absorvida durante o entardecer e a noite.

Os bairros periféricos mostram claramente uma temperatura menor quando comparado à região mais central e, obviamente, mais urbanizado. Mesmo assim, percebem-se claramente diferenças de temperatura dentro desses bairros periféricos, o que pode ser explicado pelas áreas com cobertura vegetal em contraponto com as áreas desmatadas para projetos urbanísticos, típicos de áreas de expansão da cidade.

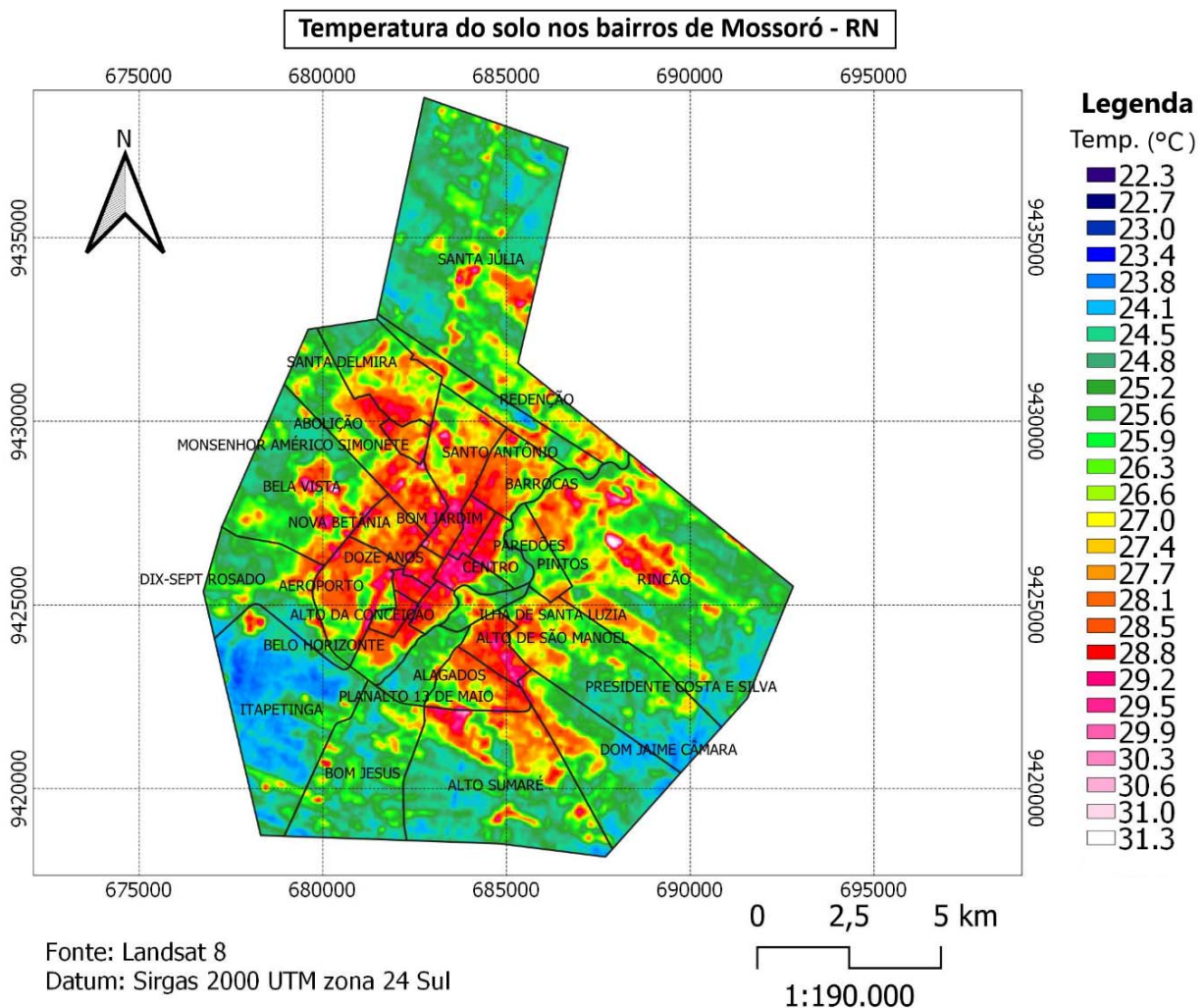


Figura 18.5. Temperatura superficial em junho de 2018 e divisão dos bairros de Mossoró-RN.

Segundo Musy e Soutter (1991) o desenvolvimento da vegetação aumenta a cobertura do solo e modifica seu comportamento hídrico, ocasionando uma evolução do seu regime térmico depois de uma diminuição de amplitude de variações de temperatura e das suas



médias. Com isso, a temperatura do solo (média e amplitude) aumenta com a retirada da cobertura vegetal, mesmo das gramíneas mais superficiais. Ainda tem o agravante das altas taxas de insolação da região, assim como a baixa pluviosidade em determinadas épocas do ano.

A área central da cidade que apresenta menos temperatura do solo, em relação ao seu entorno, refere-se ao Rio Apodi-Mossoró, que atravessa a cidade de sudoeste a nordeste. A mata ciliar desse corpo de água é dominada por indivíduos do gênero *Prosopis* L., considerados invasores: a algaroba (denominado complexo *juliflora-pallida* devido à ocorrência simultânea dessas duas espécies). Esse complexo tende à aglomeração dominando a paisagem local, mas fornece uma excelente cobertura vegetal com os seus efeitos positivos para a temperatura superficial do solo e do ar.

Para melhor visualização desses cenários apresenta-se a Figura 18.6, no qual vê-se com nitidez a configuração da cidade: uma região central mais adensada de construções, cortada pelo Rio Apodi-Mossoró e uma periferia com diversas tipologias de uso e ocupação, desde áreas ainda com cobertura vegetal até cultivos agrícolas, assim como áreas de solo exposto e parcialmente exposto dos empreendimentos imobiliários, principalmente loteamentos e condomínios residenciais privados.

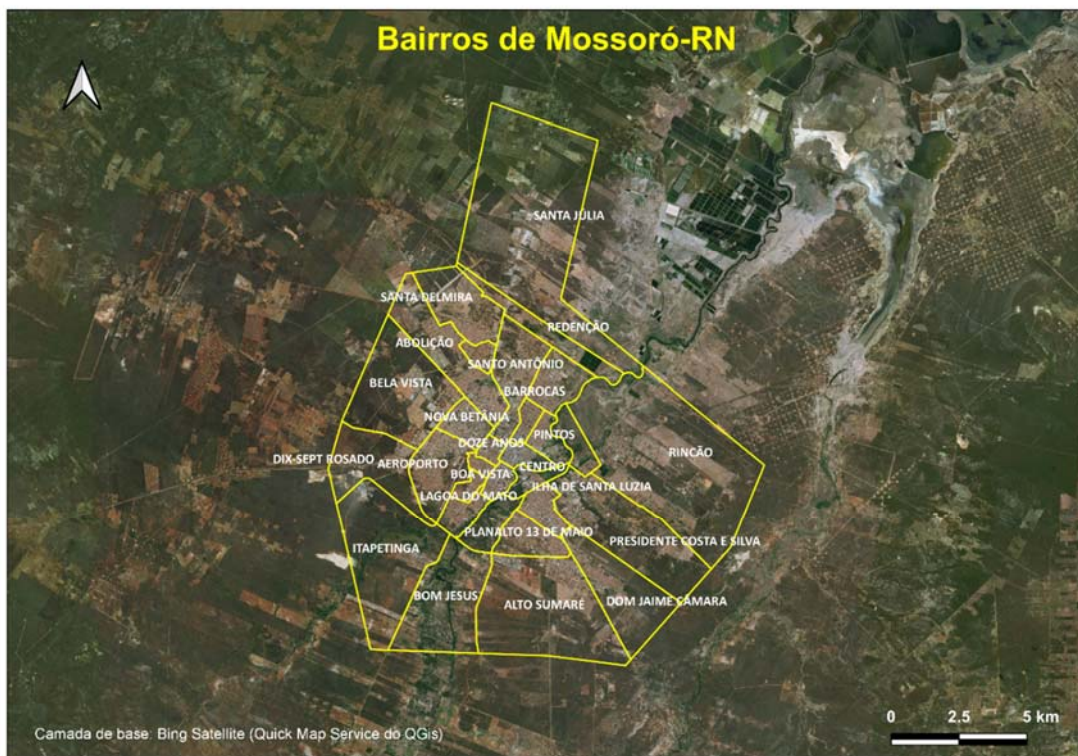


Figura 18.6. Divisão espacial dos bairros de Mossoró-RN, com o auxílio da camada base do Bing Satélite (NEXTGIS, 2019) pode-se distinguir as áreas urbanizadas e não urbanizadas e, dentre desta, as ainda com cobertura vegetal e com o solo exposto, principalmente nas áreas periféricas. A cidade está cortada, no sentido sudoeste a nordeste, pelo rio Apodi-Mossoró, com intensa mata ciliar de algarobas.

Dessa maneira, os resultados deste trabalho elucidam sobre a questão de temperatura superficial da área urbana de Mossoró, principalmente por estar o seu território dentro da faixa do clima semiárido, caracterizado pelas altas temperaturas e os baixos índices de pluviosidade.

Além disso, existem os fatores inerentes aos processos de urbanização típico de cidades em expansão e o seu potencial de influenciar na formação do clima urbano, o que se aplica a cidade de Mossoró com os seus processos dinâmicos de ilhas de calor superficiais que, aliadas às condições climáticas existentes, afetam aos seus residentes.

## 18.5. Considerações Finais

O objetivo do trabalho foi alcançado, pois a metodologia empregada permitiu avaliar o comportamento da temperatura da superfície com a imagem do satélite Landsat 8, bem como foi possível realizar comparações entre os bairros para a análise da formação das ilhas de calor, propiciado, principalmente, pelo processo de expansão urbana da cidade e pela diminuição da cobertura vegetal.

Por fim, esta pesquisa teve o intuito de apresentar os principais resultados obtidos, no que diz respeito às diferenças térmicas existentes na área urbana de Mossoró, além de demonstrar, de forma simples, as fórmulas que se utilizam para se elaborar um mapa da Temperatura Superficial Terrestre (TST). Essa discussão mostra-se relevante para a cidade, e com isso busca-se com esse trabalho contribuir com subsídios, tanto para mais estudos voltados a essa área como para o planejamento urbano de Mossoró, tendo em vista os resultados obtidos no presente trabalho.

## 18.6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Ao Departamento de Gestão Ambiental e ao Departamento de Geografia – Campus de Assú, ambos da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e ao Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

## 18.7. Referências

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 256 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. 2010. Disponível: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso: 15 mai. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2019. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn.html>. Acesso: 15 mai. 2020.

GDAL SOFTWARE. **Gdalwarp**. 2019. Disponível em: <https://gdal.org/programs/gdalwarp.html>. Acesso em: 10 jul. 2020.

- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.
- MUSY, A.; SOUTTER, M. **Physique du sol**. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991. 335 p.
- NEXTGIS. **QuickMap Services Plugin**. Versão 0.19.11.1. 2019. Disponível em: <https://nextgis.com/blog/quickmapservices/>. Acesso em: jul. 2020.
- OSGEO. **OSGeo4W FOSSGIS for Windows**. 2019. Disponível em: <https://www.osgeo.org/projects/osgeo4w/>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- PIRES, E. G.; FERREIRA, M. E. Monitoramento da temperatura de superfície em áreas urbanas utilizando geotecnologias. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2014, Aracaju, Sergipe. Anais [...]*. Aracaju, 2014. p. 477-481. Disponível em: <http://www.resgeo.com.br/geonordeste2014/anais/doc/pdfs/88.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2020.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.10.7 'A Coruña'. 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- SAMPAIO, A. H. L. **Correlações entre o uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador/BA**. 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- SARAIVA, A. L. B. C. **O clima urbano de Mossoró (RN): o subsistema termodinâmico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2014.
- USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8**. Sensor OLI. Canal 10. Órbita 216 ponto 123. De 06 de junho de 2018. 2018. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

# Índice de Vegetação

**Marco Antonio Diodato<sup>1\*</sup>, Alfredo Marcelo Grigio<sup>2</sup>, Kleisson Eduardo Ferreira da Silva<sup>3</sup>, Wesley Misael Bezerra Damasio<sup>4</sup>, Camila Leonardo Mito<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Paraná, <sup>2</sup>Doutor em Geodinâmica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, <sup>3</sup>Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, <sup>4</sup>Gestor Ambiental pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, <sup>5</sup> Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Marco Antonio Diodato, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

E-mail: diodato@ufersa.edu.br

## 19.1. A Importância das Florestas

A história mostra que as florestas são um dos pilares, e de vital importância, para o desenvolvimento da humanidade. A exploração, manejo e controle destas foi preocupação de todas as civilizações. Atualmente, essa importância pode ser percebida nos mais de 2 bilhões de hectares (30% de todas as florestas) de floresta do mundo que são manejadas para produzir madeira ou outros produtos (FAO, 2020).

O Brasil tem na sua essência a vocação florestal, já que, junto com Canadá e Rússia, hospedam parte significativa das florestas primárias do mundo (FAO, 2020) (Figura 19.1). O Serviço Florestal Brasileiro afirma que o Brasil é um país florestal, com aproximadamente 500 milhões de hectares (59% do seu território) de florestas naturais e plantadas – o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia. Em 2018, as florestas naturais estavam presentes em 57,31% do território nacional (488.066.946 ha) e as plantadas em 1,16% (9.839.686 ha) (BRASIL, 2019).

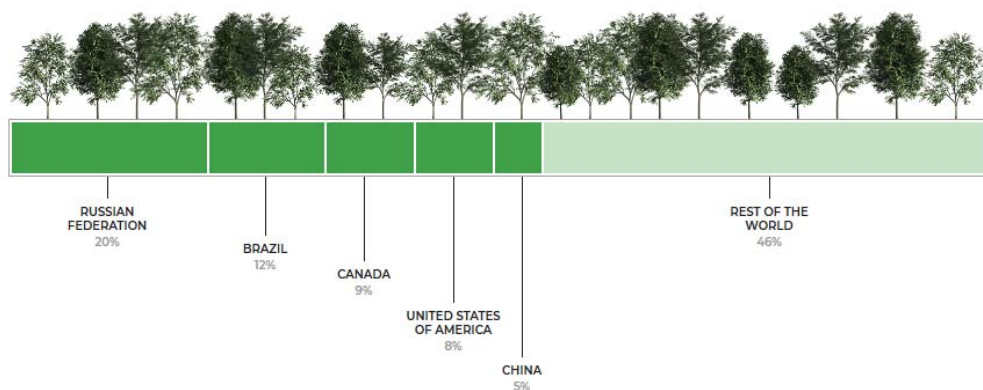


Figura 19.1. Distribuição mundial das florestas, em percentual (FAO, 2020).

## 19.2. Sensoriamento Remoto e Florestas

O avanço acelerado das geotecnologias tem auxiliado, de maneira significativa, na gestão de florestas (naturais e plantadas) tornando-se, assim, em uma ferramenta de alto valor para a sua preservação e conservação, assim como para o manejo de florestas comerciais, com base nos pilares da sustentabilidade. A agricultura tem se beneficiado também, cada vez com mais frequência, do uso de geotecnologias, a exemplo da agricultura de precisão.

O relatório florestal da FAO (2020) faz uso de ferramentas geoespaciais para o monitoramento das florestas ao nível mundial. A entidade afirma que o sensoriamento remoto está sendo uma importante ferramenta para avaliar o status e as mudanças na cobertura das árvores e no uso da terra.

O monitoramento da perda da cobertura florestal natural nos biomas brasileiros vem sendo feito utilizando-se de imagens de satélites pelo Serviço Florestal Brasileiro (BRASIL, 2020), com o apoio de diferentes projetos, entre eles:

- Programa de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS. Realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) para ações de fiscalização e combate a desmatamentos ilegais;
- Projeto PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento por Satélite. Realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na Amazônia Legal e no Cerrado para produzir taxas anuais de desmatamento;
- Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Convênio entre a Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para Monitoramento da Mata Atlântica;
- Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros – PMABB. MMA, em parceria com INPE, Embrapa e IBAMA, para monitorar os biomas Brasileiros.

O uso de geotecnologias também tem sido frequentemente usado no meio acadêmico, científico, profissional e empresarial, para os mais diversos objetivos, principalmente os relacionados à vegetação e ao uso do solo, o que tem consolidado a essa ferramenta como fundamental e confiável para a obtenção de informações.

## 19.3. Índices de Vegetação

As análises da vegetação e detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Conseqüentemente, a detecção qualitativa da vegetação verde é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto na tomada de decisões e gerenciamento ambiental do “alvo vegetação” (ROSENDO, 2005).

Mas, o que são e para que são usados os índices de vegetação? Segundo Drone Visual (2019) são algoritmos desenvolvidos para analisar as imagens capturadas por câmeras específicas e disponibilizar diversas análises, por meio da coloração indicativa de cada índice, por exemplo, alguns índices são utilizados para capturar os processos fotoquímicos associados com a fotossíntese da planta, tal como o uso da eficiência da luz ou estimar o conteúdo de



pigmentação da folha (clorofila), enquanto que outros foram projetados para obter o índice de área foliar (IAF). Ainda, para Barbosa (2006), são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo, tanto quantitativamente quanto qualitativamente.

Segundo Epiphany et al. (1996), os índices de vegetação realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, índice de área foliar e percentagem de cobertura vegetal.

Os índices de vegetação se dividem basicamente em dois grupos: o primeiro é baseado no contraste entre a resposta da vegetação na banda do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR). Os índices deste primeiro grupo são chamados de **índices de razão**. O segundo grupo se aproveita do padrão de respostas nessas duas bandas e faz uso do conceito de linha do solo, com o objetivo de calcular a distância entre a linha do solo e a vegetação. Os índices do segundo grupo podem ser chamados de **índices ortogonais, perpendiculares ou baseados em distância** (OLIVEIRA et al., 2007). Exemplos do primeiro grupo são: Índice de vegetação da Simple Razão (SR) (*Simple Ratio*), Índice de Vegetação Transformada (TVI) (*Transformed Vegetation Index*), Índice de Relação da Vegetação (RVI) (*Ratio Vegetation Index*) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (*Normalized Difference Vegetation Index*). São integrantes do segundo grupo o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) (*Soil Adjusted Vegetation Index*), o Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) (*Perpendicular Vegetation Index*) e o Índice de Vegetação por Diferença Ponderada (WDVI) (*Weighted Difference Vegetation Index*).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais frequentemente usado, mas não o único. Existem outros índices espectrais de grande importância, os quais combinados com o NDVI, auxiliam para uma melhor interpretação da vegetação.

Segundo Oliveira et al. (2007) o SAVI, o TSAVI e o MSAVI fazem parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Os parâmetros de ajuste podem ou não considerar os coeficientes da linha do solo, mas sempre expressam o intuito de minimizar o efeito de fundo do solo.

Existe uma variedade de índices de vegetação, por exemplo: Razão Simples (SR), Índice de Vegetação por Diferença (DVI), Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Índice de Relação da Diferença de Vegetação (NRVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Transformada (TSAVI), Índice de Relação da Vegetação (RVI), Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI) e Diferença Normalizada do *Red Edge* (NDRE).

Alguns índices são variações de índices existentes, a exemplo do Índice de Relação da Vegetação ( $RVI = RED / NIR$ ), que é o contrário da relação simples proposta pelo RATIO ( $RVI = NIR / RED$ ) e, na sua vez, o Índice de Relação da Diferença de Vegetação (NRVI) é uma modificação do RVI, por meio do resultado para  $RVI-1$ , normalizado com  $RVI+1$ . Visa uma redução dos efeitos de iluminação topográfica, efeitos atmosféricos e criando uma distribuição normal estatisticamente desejável (RODRIGUES, 2013). O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um ajustamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L.

O Quadro 19.1 apresenta alguns índices, junto com as suas equações e possibilidades de uso. Faz-se necessário esclarecer que os nomes dos índices em português podem variar conforme o autor, principalmente os que não são de uso generalizado no Brasil, já que, algumas vezes, os autores fazem uma tradução livre do inglês. Por isso faz-se necessária a indicação do nome em inglês para um melhor entendimento de qual índice está se usando. A título de exemplo o denominado neste trabalho de Índice de Relação da Vegetação (RVI) (*Ratio Vegetation Index*) alguns autores o chamam de Índice de Vegetação Reverso, a exemplo de Oliveira et al. (2007).

Quadro 19.1. Índices de vegetação, equação e observações.

Índice	Equação	Observações
Índice de Vegetação da Simples Razão (SR) ( <i>Simple Ratio</i> ) (BIRTH e MACVEY, 1968)	$SR = \frac{NIR}{RED}$ <p>Onde: NIR (<i>Near Infra Red</i>) é a banda do infravermelho próximo; RED é a banda do vermelho.</p>	É um índice baseado na razão entre uma banda, cujos valores crescem com o aumento da vegetação (infravermelho próximo) e outra banda, cujos valores decrescem com o aumento da vegetação (vermelho), produzindo um parâmetro que é altamente sensível à presença de vegetação.
Índice de Vegetação Transformada (TVI) ( <i>Transformed Vegetation Index</i> ) (DEERING et al., 1975)	$TVI = \sqrt{NDVI + 0,5}$ <p>Onde: NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada</p>	É um índice utilizado em cenas onde a densidade da vegetação é baixa e a diferença normalizada pode resultar em valores negativos.
Índice de Relação da Vegetação (RVI) ( <i>Ratio Vegetation Index</i> ) (JORDAN, 1969)	$RVI = \frac{RED}{NIR}$ <p>Onde: NIR (<i>Near Infra Red</i>) é a banda do infravermelho próximo; RED é a banda do vermelho.</p>	O valor do índice RVI é inversamente proporcional à quantidade de vegetação presente na área.
Índice de Relação da Diferença de Vegetação (NRVI) ( <i>Normalized Ratio Vegetation Index</i> ) (BARET e GUYOT, 1991)	$NRVI = \frac{(RVI - 1)}{(RVI + 1)}$ <p>Onde: RVI é o Índice de Relação da Diferença de Vegetação.</p>	É uma modificação do RVI por meio do resultado para RVI-1 normalizado com RVI+1. Visa uma redução dos efeitos de iluminação topográfica, efeitos atmosféricos e criando uma distribuição normal estatisticamente desejável.
Índice de Vegetação Melhorado (EVI) ( <i>Enhanced Vegetation Index</i> ) (JUSTICE et al., 1998)	$EVI = G * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * Blue + L)}$ <p>Onde: NIR = Reflectância do infravermelho próximo; RED = Reflectância do vermelho; BLUE = Reflectância do azul; L = ajuste de fundo; C1 e C2 = Coeficientes de resistência a aerossóis.</p>	Desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel.
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ) (ROUSE et al., 1973)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$ <p>Onde: NIR = refletância na banda referente ao infravermelho próximo; RED = refletância na banda referente ao vermelho.</p>	Visa eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimiza os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais.

GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS

<p>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) (Soil Ajusted Vegetation Index) (HUETE, 1988)</p>	$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} * (1 + L)$ <p>Onde: RED: banda correspondente ao vermelho; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo e L é um fator de ajuste.</p> <p>OBS.: O fator de correção L pode variar entre 0, para coberturas vegetais mais densas, e 1 para vegetação menos densa.</p>	<p>Possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L.</p> <p>Para a vegetação de caatinga use-se, geralmente, o valor 0,5 para fator L, que corresponde a uma densidade vegetal intermediária.</p>
<p>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo transformado (TSAVI) (Transformed Soil Ajusted Vegetation Index) (JUSTICE et al., 1998)</p>	$TSAVI = \frac{a(NIR - aRED - b)}{RED + a(NIR - b) + 0.8(1 + a^2)}$ <p>Onde: a = inclinação linha do solo; b = intersecção da linha do solo; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo e RED: banda correspondente ao vermelho.</p>	<p>Apresenta um pouco de resistência para umidade em terras altas não apresentando bom desempenho em áreas de vegetação densa. É um bom índice para utilização em regiões semiáridas (MARCUSSEI et al., 2010).</p>
<p>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo modificado (MSAVI) (Modified Soil Ajusted Vegetation Index) (QI et al., 1994)</p>	$MSAVI = \frac{(2 NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)})}{2}$ <p>Onde: RED: banda correspondente ao vermelho; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo e L (já incorporado na equação) é um fator calculado através da expressão: <math>L = 1 - 2a \cdot NDVI \cdot WdVI</math>.</p>	<p>O fator L é função da densidade de cobertura vegetal usado para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover o “ruído” do solo que não foi cancelado pelo produto NDVI e WdVI.</li> <li>- Valores maiores que 1 no índice podem ser devido ao valor negativo do NDVI e WdVI. Dessa forma há limitação em sua utilização para áreas com alta densidade de vegetação.</li> </ul>
<p>Índice de Vegetação Ponderado (WDVI) (Weighted Vegetation Index) (CLEVERS, 1988)</p>	$WDVI = NIR - a \cdot RED$ <p>Onde: a: declividade da reta do solo; RED: banda correspondente ao vermelho; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo.</p>	<p>O índice, mesmo simples, é eficiente. Oferece uma boa correção do “ruído” do solo (em particular as diferenças no teor de umidade do solo) na estimativa do IAF da vegetação verde.</p>
<p>Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) (Perpendicular Vegetation Index) (RICHARDSON e WIEGAND, 1977)</p>	$PVI = \left(\frac{1}{\sqrt{a^2+1}}\right)(NIR - aRED - b)$ <p>Onde: a = inclinação linha do solo; b = intersecção da linha do solo; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo e RED: banda correspondente ao vermelho.</p>	<p>O PVI mede as mudanças das refletâncias do solo exposto na vegetação. Desta forma, fornece uma indicação de cobertura vegetativa independente dos efeitos do solo.</p>
<p>Índice de verdor (GI) (Greenness Index) (KAUTH e THOMAS, 1979)</p>	$GI = \frac{GREEN}{RED}$ <p>Onde: GREEN: banda correspondente ao verde; RED: banda correspondente ao vermelho.</p>	<p>O índice GI detecta carotenos ou outros pigmentos nos fragmentos de vegetação. Está relacionado ao vigor do cultivo, quantidade de vegetação ou biomassa. Diferencia claramente o solo exposto ou com pouca vegetação das demais coberturas ou superfícies observadas.</p>
<p>Índice de Área Foliar (IAF) (Leaf Area Index) (WATSON, 1947)</p>	$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$ <p>Onde: SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.</p>	<p>É a relação entre a área da folhagem e a superfície do solo por ela ocupada e é variável de acordo com espécies vegetais, clima, estações do ano e estágio de desenvolvimento da planta. É um indicador da biomassa de cada pixel da imagem.</p>

<p>(NDWI) (Normalized Difference Water Index) (GAO, 1996).</p>	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$ <p>Onde: GREEN: banda correspondente ao verde; NIR: banda correspondente ao infravermelho próximo.</p>	<p>É altamente correlacionado com o conteúdo de água presente na cobertura vegetal, permitindo monitorar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação, sendo pouco sensível aos efeitos da atmosfera.</p>
--	---	---

O Quadro 19.1 apresenta apenas alguns dos índices de vegetação. Para obter mais índices, e de forma mais detalhada, sugere-se consultar *Index Database*, disponível em (<https://www.indexdatabase.de/>). A página apresenta um banco de dados com 529 índices de vegetação, que podem ser consultados por aplicação, por sensor ou, ainda, por ambos combinados. Conforme a página, as bandas disponíveis de sensores são vinculadas aos níveis de onda exigidos dos índices, para que todos os sensores possam ser utilizados no cálculo de um índice e, vice-versa, é possível encontrar todos os índices que podem ser calculados pelos dados de um sensor específico.

Marcussi et al. (2010) comentam sobre alguns índices que foram criados para a correção de efeitos atmosféricos, como aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar e poeira), a exemplo de ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Os autores afirmam, ainda, que o ARVI apresenta bons resultados nos estudos de vegetação, mostrando-se quatro vezes mais sensível à atmosfera que o NDVI, sendo mais indicado aos estudos envolvendo áreas predominantemente ocupadas pela vegetação e que, em muitos estudos, utilizaram-se os índices NDVI e EVI para detectar desmatamentos concluindo que estes índices têm boa potencialidade para detecção de monitoramentos ambientais.

#### 19.4. Aplicações de Índices de Vegetação no Oeste Potiguar - RN

Há índices de vegetação que possuem o objetivo principal de cancelar o efeito do brilho do solo nos casos em que a vegetação é esparsa, onde os pixels contêm uma mistura de vegetação verde e solo de fundo. Essa é uma importância particular dos índices nos estudos em ambientes áridos e semiáridos. É o caso de alguns tipos vegetacionais do Cerrado e da Caatinga. Os índices utilizados para este fim são: NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*); PVI (*Perpendicular Vegetation Index*); DVI (*Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*); TSAVI (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*); MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*); WDVI (*Weighted Difference Vegetation Index*) (MARCUSSEI et al., 2010).

No caso do semiárido brasileiro, onde a presença da caatinga é predominante, deve-se ter em mente a sazonalidade desse tipo de vegetação. No Cerrado há o fator fogo a ser considerado.

Em áreas de caatinga, o período no qual a pluviosidade é muito baixa ou, em algumas regiões, praticamente nula, a vegetação perde totalmente as folhas e as que mantem pouca folhagem, em geral, ficam com as folhas em tonalidades que varia de amarela a marrom clara. O solo apresenta-se totalmente descoberto de vegetação, seja gramínea ou herbácea. Essa

característica da caatinga se reflete em baixos valores no índice de vegetação. Nesse caso, aconselha-se o uso do SAVI, ou algum outro índice similar, por ser mais adequado para áreas com menos de 40% de cobertura vegetal, para minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação.

Já, no período das chuvas, a vegetação está na fase de formação de biomassa nova, apresentando folhagem verde, tanto as de porte arbóreo como as arbustivas e, principalmente, herbáceas, que são plantas anuais que aparecem com uma camada recobrendo o solo, antes exposto no período em que as chuvas não são frequentes, ou até mesmo nulas. Nos casos em que a caatinga é arbórea e a data da coleta da imagem é no período de chuvas o NDVI pode ser usado sem prejuízos na informação extraída dela.

Destaca-se que, dentre várias regiões brasileiras, o Nordeste é a que apresenta maior heterogeneidade de quadros naturais, que se revelam no seu clima, vegetação e solo (ANDRADE, 1977).

O bioma da área de interesse é fundamental, já que indica o tipo e a estrutura da vegetação. Entender previamente os ambientes da área em foco é imprescindível para uma correta avaliação e estimativa da vegetação, por meio da escolha de índices adequados e que melhor representem a estrutura vegetacional e/ou florestal. Para se ter uma visão de como a escolha do índice influência nos resultados apresenta-se alguns exemplos de trabalhos feitos na Mesorregião Oeste Potiguar do Rio Grande do Norte (Figura 19.2).

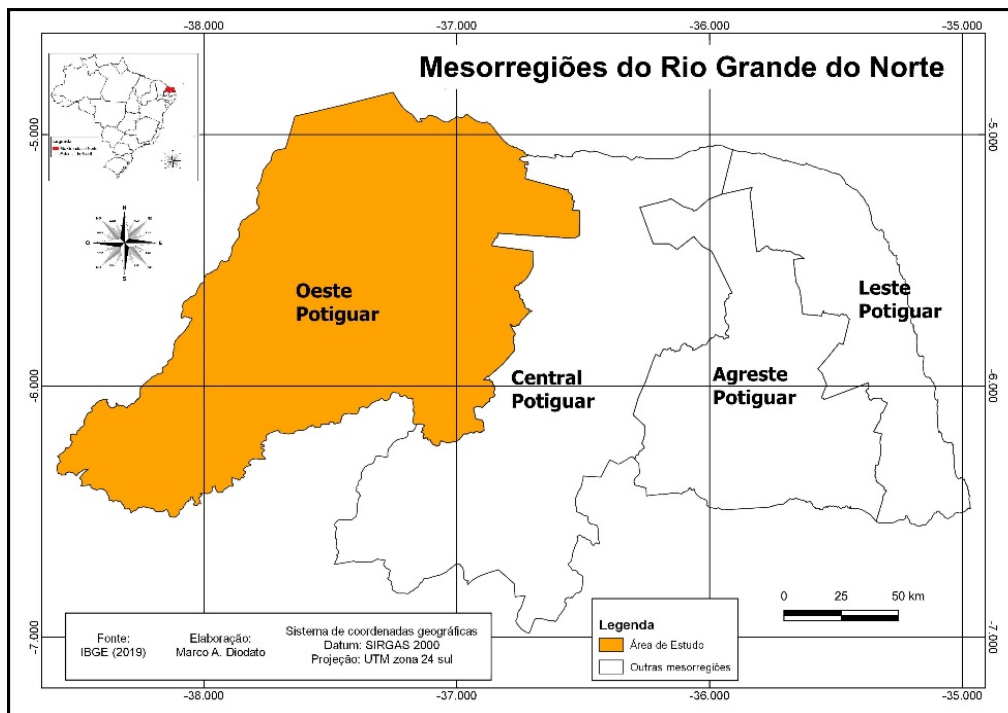


Figura 19.2. Mapa de localização da mesorregião Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte.

A Figura 19.3 apresenta o uso de alguns índices aplicados à mesma área, com as mesmas cenas do satélite Landast 8 (cenas 216/63, 216/64 e 215/64 – USGS, 2016 a, b, c, 2019 a, b, c), adquiridas do Serviço de Levantamento Geológico Americano, com datas de passagem nos meses de setembro e outubro de 2016 e 2019, respectivamente.



A vegetação de caatinga segue o ritmo da sazonalidade climática regional, produzindo muita biomassa no período chuvoso e perdendo-a, algumas espécies parcialmente, outras totalmente, no período que pluviosidade é nula ou ocorre eventualmente em volumes muito baixos. No entanto, existe uma periodicidade na ocorrência de secas que duram alguns anos. Foi o caso da seca que castigou o semiárido brasileiro de 2012 a 2017 (REBELLO, 2018). Posteriormente, a regularidade da sazonalidade das chuvas voltou ao normal. A escolha dos anos de 2016 e 2019 servem de boa base para estabelecer comparações da vegetação, já que ela apresenta sensibilidade ao fenômeno da chuva. O ano escolhido foi o de 2016, por ser o ano mais seco desse período de seca ocorrido entre de 2012 a 2017

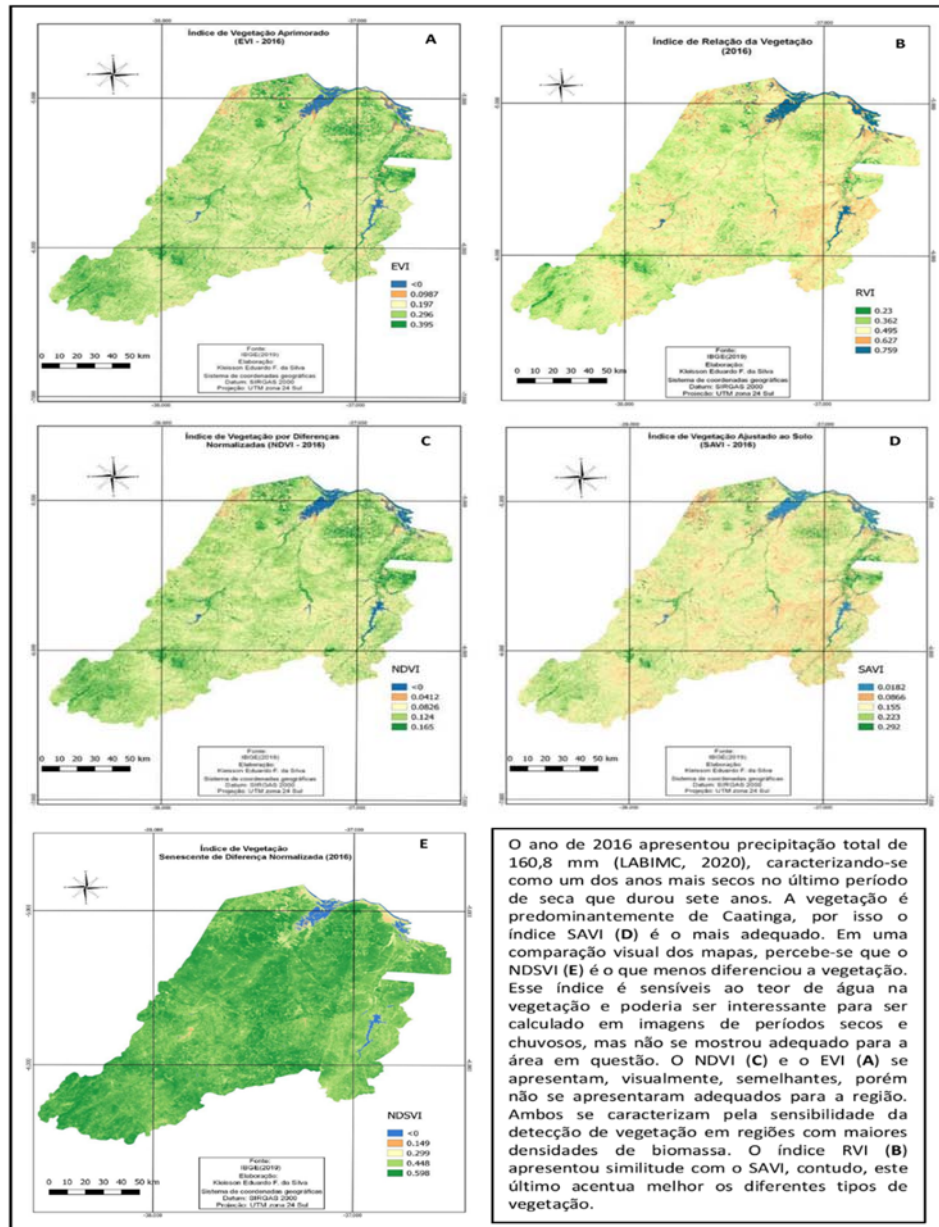


Figura 19.3. Mapas de índices de vegetação aplicados á mesorregião Oeste Potiguar do Rio Grande do Norte. Índices de vegetação: A) EVI; B) RVI; C) NDVI; D) SAVI e E) NDSVI.

As tonalidades de cores representam os tipos de vegetação que, na região oeste potiguar, apresenta predomínio de vegetação de caatinga, principalmente a arbustiva arbórea, mas também a carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore) nas matas ciliares e, nas áreas

litorâneas, tem-se a formação vegetal de praias e dunas e manguezal. Há também formações halófitas ou campos salinos, que se situam nas planícies fluviais e marinhas do rio Apodi/Mossoró. As serras do oeste potiguar apresentam o que se denomina de Floresta Atlântica Nordestina, formando ilhas de floresta úmida em plena região semiárida cercadas por vegetação de caatinga, tendo uma condição climática bastante atípica com relação à umidade e temperatura que, conseqüentemente, influencia a vegetação.

A característica das plantas caducifólias, caducas ou decíduas, isto é, que perde as folhas em uma certa época do ano, como é o caso da caatinga, é detectada nas imagens de satélite a depender da época da coleta. A densidade da vegetação, em geral, é baixa, variável segundo a região, e nem sempre recobre totalmente o solo. Portanto, o solo exposto pode influenciar na imagem, por isso aconselha-se o uso do SAVI (Figura 19.3D) para minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação. Na mesma figura percebe-se, em uma análise visual, a semelhança do RVI (Figura 19.3B) com o SAVI, porém, este último apresenta um contraste maior entre os tipos de vegetação, a exemplo das áreas marginais dos rios, onde, sabidamente, estão marcadas pela presença da algaroba (*Prosopis juliflora* e *Prosopis pallida*), espécie exótica considerada invasora que se estabelece, principalmente, em áreas úmidas, e a vegetação do entorno, em geral, de porte arbustivo com baixa densidade de ocupação da área.

Destaca-se também a semelhança entre o EVI e o NDVI, nas figuras 19.3A e 19.3C, respectivamente. Ambos índices podem ser mais adequados de serem usados para períodos chuvosos, quando há um incremento rápido e substancial da produção de biomassa vegetal. O índice NDSVI (Figura 19.3E) não se mostrou adequado para o seu uso no ambiente semiárido.

O índice RVI inicia a sua escala em zero e, ao inverter a escala, corpos de água apresentam valores altos, solo exposto e construções com valores médios e a vegetação com valores próximos de zero. Ele reduz os efeitos atmosféricos e topográficos e melhora o contraste entre o solo e a vegetação, mas minimiza os efeitos das condições de iluminação. O índice apresenta-se como uma alternativa interessante, inclusive pela simplicidade da equação para a sua obtenção.

Na Figura 19.4 pode ser visualizado a aplicação do RVI para os anos de 2016 e 2019, no Oeste Potiguar. O ano de 2016 foi um dos anos mais secos de uma longa estiagem que sofreu a região semiárida. Já, no ano de 2019 a pluviosidade começou a se restabelecer atingindo índices mais próximos dos normais da região. A comparação entre os anos, em um exame visual mais detalhado, mostra que o índice apresenta sensibilidade às variações sazonais da vegetação. No ano de 2019 o valor de cobertura vegetal se aproxima mais do zero que o do ano 2016, o que significa aumento da biomassa vegetal, fenômeno típico da caatinga quando recupera as folhagens perdidas durante o período seco. Os tons mais claros de verde, com valores em torno de 0,3, representam as áreas de caatinga arbustiva e as próximas a 0,5 as plantas herbáceas e rasteiras, do tipo gramíneas, que são mais abundantes em 2019, já que elas só crescem no período chuvoso, recobrando o solo nu, representado pelo tom alaranjado, bastante visível no ano de 2016.

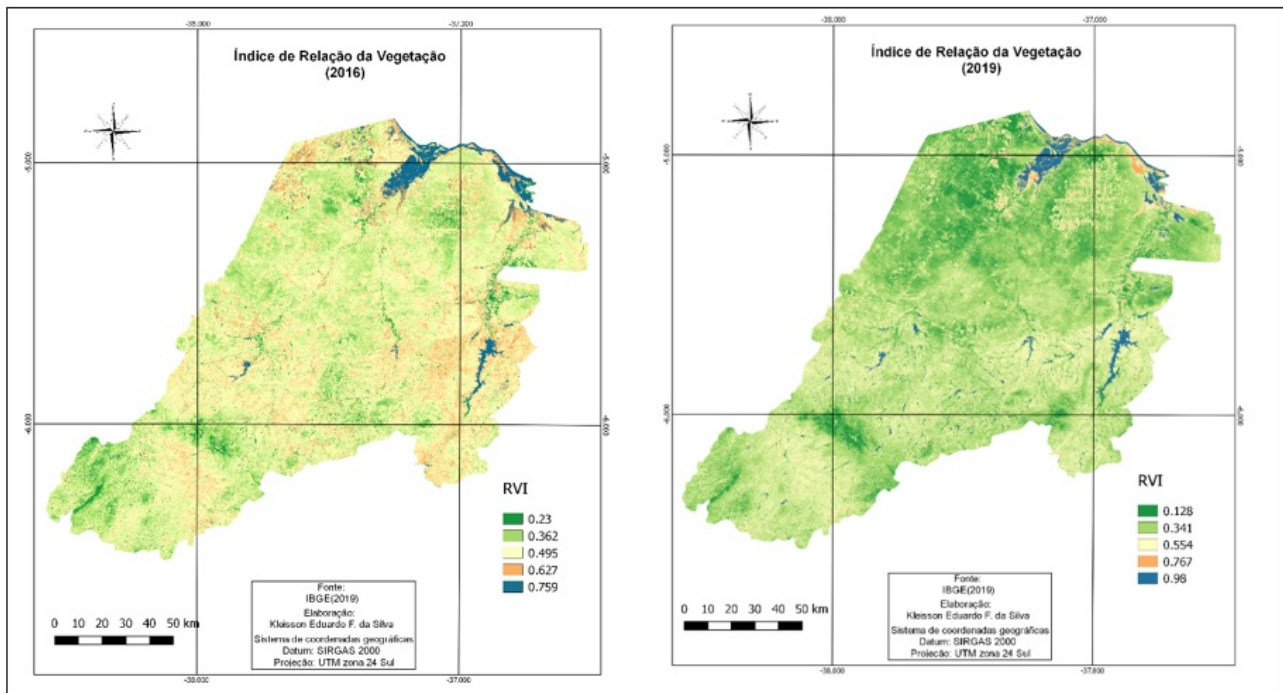


Figura 19.4. Mapas do índice de vegetação RVI, para os anos de 2016 e 2019, aplicados á mesorregião Oeste Potiguar do Rio Grande do Norte.

Estudos sobre quais índices usar, para quais objetivos e aperfeiçoamentos dos algoritmos para a sua obtenção, estão continuamente sendo conduzidos e publicados. Mas, sem dúvidas, uma análise preliminar do ambiente de interesse e objetivos claros é a base para uma escolha adequada de qual índice usar, inclusive, se sugere o uso de vários combinados explorando as vantagens de cada um. Lembra-se que o índice é apenas uma ferramenta, mas que dá os alicerces para um trabalho confiável e eficiente.

## 19.5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, ao Departamento de Gestão Ambiental da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e ao Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 19.6. Referências

ANDRADE, G. O. de. **Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste**. Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Superintendência Adjunta de Planejamento, Coordenação de Planejamento Regional, Divisão de Política Espacial, 1977. 75 p.

- BARBOSA, K. M. do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 35 n. 2-3, p. 161-173, 1991.
- BIRTH, G. S.; McVEY, G. R. Measuring the colour of growing turf with a reflectance spectrophotometer. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 6, 1968.
- BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo: 2019**. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 207 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4261-florestas-do-brasil-em-resumo-digital>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Caatinga**. 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- CLEVERS, J. G. P. W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 1, p. 53-69, 1988.
- DEERING, D. W.; ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. Measurement forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975. **Proceedings [...]**. Ann Arbor, ERIM, 1975. p. 1169-1178.
- DRONE VISUAL. **O que são os índices de vegetação e para que são utilizados?** 2019. Disponível em: <https://www.dronevisual.com/post/2019/06/12/o-que-sao-os-indices-de-vegetacao-e-para-que-sao-utilizados>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados**. Roma. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca8753es/CA8753ES.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- GAO, B. C. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.
- JORDAN, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.
- JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.
- KAUTH, R.; THOMAS, G. The tasselled sap - A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *In*: SYMPOSIUM OF MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 1979, West Lafayette, USA. **Proceedings [...]**. LARS, Indiana: Purdue University, West Lafayette, 1979.



MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P. B.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de Índices de Vegetação para os Sistemas de Informação Geográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, p. 41-53, 2010.

OLIVEIRA, L. G. L. de; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C. M.; MAEDA, E. E. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. *In: Anais XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13., 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 5995-6002.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE A. R.; KERR, Y. H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. 2, p. 119-126, 1994.

REBELLO, A. Na área rural de Quixeramobim (CE), carcaças de bois e jumentos ficam abandonadas ao sol, na pior seca enfrentada no Nordeste. **UOL Notícias**, São Paulo, 03 mar. 2018. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm>. Acesso em: 28 jul. 2020.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information (by gray mapping of Landsat MSS data). **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 1541-1542, 1977.

RODRIGUES, T. S. **Avaliação de índices de vegetação em imagens orbitais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, 2013.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG utilizando dados do sensor Modis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3., 1973, Greenbelt, Maryland, USA. **Proceedings [...]**. Greenbelt: NASA, 1973. p. 3010-3017.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 216 ponto 063. De 20 de setembro de 2016. 2016a. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 216 ponto 064. De 20 de setembro de 2016. 2016b. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 215 ponto 064. De 13 de setembro de 2016. 2016c. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 216 ponto 063. De 31 de outubro de 2019. 2019a. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 216 ponto 064. De 31 de fevereiro de 2019. 2019b. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8**. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 215 ponto 064. De 08 de outubro de 2019. 2019c. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 10 jul. 2020.



WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947

# Geoprocessamento em Áreas Urbanas

Alexandre Augusto Moreira Lajo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**\*Autor correspondente:**

Alexandre Augusto Moreira Lajo, SEMADUR, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: lajoalex@gmail.com

## 20.1. Introdução

Neste capítulo será tratada a utilização das ferramentas de geotecnologias para a utilização em áreas urbanas, este processo tem suas especificidades, uma vez que por conta dos detalhes a escala de trabalho exigida é sempre grande e conta com vultoso volume de dados para a consulta. Além de trabalhar com muito volume de informação e detalhes, deve se ater a uma vasta gama de normas e legislações que regem o espaço urbano para que se faça um trabalho de qualidade.

O grande desafio da administração pública, em especial na esfera municipal, uma vez que nas três esferas administrativas esta é a supridora final dos serviços públicos que chegam ao cidadão, é a disponibilização espacial de suas informações para a gestão do espaço físico do município que auxiliará nas tomadas de decisões para assegurar qualidade de vida aos que lá habitam, até mesmo as atribuições mais nobres disponibilizadas pelo poder público como saúde, segurança e educação são “clientes”, de forma direta ou indireta, das informações geoespaciais do município.

O geoprocessamento em áreas urbanas surgiu pela necessidade de uma ferramenta para auxiliar na gestão do territorial do município, isto é, para gerenciar as informações que se encontram distribuídas no espaço físico urbano, ou seja, informações espaciais. Este tipo de tecnologia possibilitou não somente a representação cartográfica dos lotes que compõem o município, mas principalmente a integração com os dados contidos nas tabelas que compõem o cadastro imobiliário, sendo um marco que mudou a forma de gestão do espaço público.

Para gerir o espaço territorial urbano através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), precisa-se em primeiro lugar que a administração pública entenda a necessidade, o funcionamento e as vantagens em ganhos pecuniários e de tempo que esta ferramenta proporciona, que certamente necessita de investimentos para infraestrutura (*hardwares*), *softwares* específicos, uma equipe técnica devidamente qualificada e as informações bem consistidas e tratadas. Um projeto de um sistema de geoprocessamento é uma empreitada que só tem início, visto que precisa ser continuamente alimentado e atualizado para que não entre em obsolescência.

Um município com um sistema de geoprocessamento devidamente implantado terá muito mais facilidade na gestão territorial, com menos perda de recursos financeiros e tempo, pois terá as informações organizadas e disponíveis rapidamente. Um sistema geoespacial eficiente possibilita acima de tudo justiça fiscal, isto é, auxilia na discrepância da cobrança dos tributos, evitando que o poder público perca com a evasão de divisas e permitindo que o munícipe pague somente o imposto que lhe é devido.

Conforme o *United States Geological Survey* (USGS) dos Estados Unidos (USGS, 2008): “Seja em papel ou na tela de um computador, um mapa é a melhor ferramenta disponível para catalogar e visualizar a disposição das coisas na superfície da terra”. Mais que tudo, um sistema de geoprocessamento para a área urbana traz uma boa visão à administração municipal, excluindo a sensação de desorganização administrativa, servindo como um atrativo para o aporte de potenciais investidores.

Um município com informações geoespaciais confiáveis serve inclusive de provedor de informações para concessionárias de serviços públicos como água, luz e comunicação e a órgãos estaduais e federais. A tendência leva a crer que cada vez mais órgãos, como as secretarias estaduais e de receita e a Receita Federal, inclinam-se a querer trabalhar de forma integrada com as informações geoespaciais dos municípios.

Com o controle das informações espaciais é possível:

- Justiça fiscal;
- Fornecer subsídios para melhorar o planejamento urbano;
- Disciplinar o parcelamento do uso e da ocupação do solo;
- Elaborar o mapeamento do zoneamento ambiental;
- Mapear a planta de valores imobiliários do município;
- Mapear os próprios (imóveis) da prefeitura;
- Mapear o cadastro das atividades econômicas do município;
- Mapear e atualizar o cadastro imobiliário do município;
- Melhorar a arrecadação de impostos territoriais e prediais urbanos; e
- Elaborar mapas temáticos da área urbana do município.

## 20.2. Plano Diretor

O Plano Diretor é o instrumento fundamental da política de desenvolvimento da área urbana do município, podendo se estender também à área rural. É previsto pela Constituição Federal Brasileira de 1988, no artigo 182 (BRASIL, 1988) e na Legislação Federal através da Lei 10.257/01, conhecida também como Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001). Na sua essência, o Plano Diretor é um conjunto de leis do município que orienta a ocupação do mesmo, especificando o que pode e não pode ser feito em determinadas áreas (BRASIL, 1988):

**Art. 182.** *A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (BRASIL, 1998).*

*§1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana (BRASIL, 1998)*

*\*Parágrafo único. Para todos os efeitos, esta Lei, denominada Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001).*

### 20.3. Base Cartográfica Urbana

O funcionamento de um sistema de geoprocessamento municipal segue o mesmo fundamento de qualquer sistema de informática gerencial, necessita da infraestrutura física implantada, no caso os *hardwares*, necessitam também dose *softwares*, da equipe técnica que irá mantê-lo operante e das informações que comporão e alimentarão este sistema. O que diferencia um sistema de geoprocessamento de um sistema gerencial padrão é o fato que este primeiro trabalha com informações espacializadas.

O desafio dos gestores municipais é a obtenção de ferramentas que auxiliem na gestão da infraestrutura urbana espacialmente, através da possibilidade da espacialização dos dados do cadastro imobiliário no território do município. Certamente, os dados do cadastro e as informações de temáticas terão que ser representadas espacialmente em algum lugar, que será tratado por base cartográfica.

A base cartográfica urbana diz respeito à representação cartográfica do espaço físico dentro do município que possibilita a visualização espacial das delimitações legais das áreas ocupadas e do sistema viário. Esta representação cartográfica é a base, além demonstrar as divisões internas do município, chegando até os lotes, que serão os vetores nos quais serão vinculadas as informações tabulares do cadastro imobiliário.

É certo que os administradores do município almejam possuir um sistema de geoprocessamento com um cadastro imobiliário espacial implantado, mas implantar qualquer sistema de informação geográfica em um determinado município ou distrito passa por muitas etapas, o primeiro questionamento feito será: “Esse município possui uma base cartográfica?”, como visto há pouco, sem esta, se torna impossível espacializar os dados do cadastro imobiliário.

As informações que compõem um sistema de geoprocessamento urbano estão ligadas diretamente à base cartográfica, de modo que se ela for um trabalho preciso e acurado, resultará em dados bem especializados de forma precisa e acurada. Então, nota-se que até o momento estão sendo discutidos vários itens distintos: a base cartográfica, os dados e o sistema de geoprocessamento em si.

O fácil acesso aos SIGs, entre eles os *softwares* livres, leva muitos gestores a pensar que seja possível a implantação de um sistema de geoprocessamento para o município que espacialize informações cadastrais, temáticas e estatísticas como uma tarefa simples. É certo que tendo os *softwares* já se tem uma etapa a menos da empreitada.

Mas pensar em um sistema de geoprocessamento de um município sem base cartográfica municipal é algo insensato. De modo análogo, seria a comparação da anatomia e da fisiologia

humana com o SIG e com a base cartográfica, conforme a Figura 20.1. Neste caso, o cérebro representaria o SIG, as informações representariam o oxigênio, e o coração, a base cartográfica.

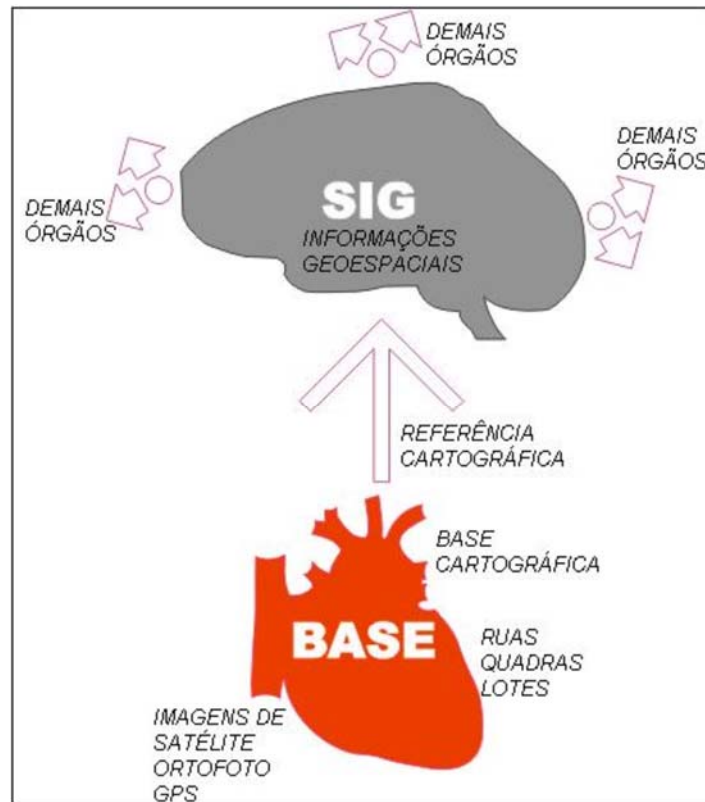


Figura 20.1. Esquema analógico que compara um SIG com órgãos humanos.

Podem-se imaginar duas situações: a primeira seria um ser-humano ou qualquer outro animal sem o cérebro, mas com coração. Naturalmente todas as funções ligadas à motricidade, sensibilidade, memória e ao raciocínio seriam inexistentes. A pessoa estaria em morte cerebral, em estado vegetativo, porém, se auxiliada por dispositivos que controlassem a respiração, continuaria sobrevivendo, tendo inclusive outras funções vitais como a circulação sanguínea. Seria o exemplo de uma cidade que possui a base cartográfica, mas que não tem um SIG. Seria possível realizar apenas algumas funções rudimentares de geoprocessamento, como marcar dados a mão no mapa impresso ou localizar pontos utilizando alfinetes.

A segunda situação é o contrário. Uma pessoa que possui cérebro, mas não coração, incluindo o coração artificial, não seria capaz de sobreviver. Sem não se utilizar de nenhum dispositivo artificial que realize o trabalho do coração, mesmo com o auxílio de respiração mecânica, o sangue não levaria oxigênio para as outras partes do corpo e conseqüentemente as células morreriam, começando o corpo a se decompor.

Então, a resposta para a pergunta feita anteriormente com base no que foi explicado até o momento é que é impossível criar um sistema de geoprocessamento em um município que não tenha base cartográfica. Uma explicação leiga e simplista de base cartográfica é um conjunto de mapas básicos de um município que possibilitam espacializar dados coletados em campo ou laboratório (Figura 20.2).



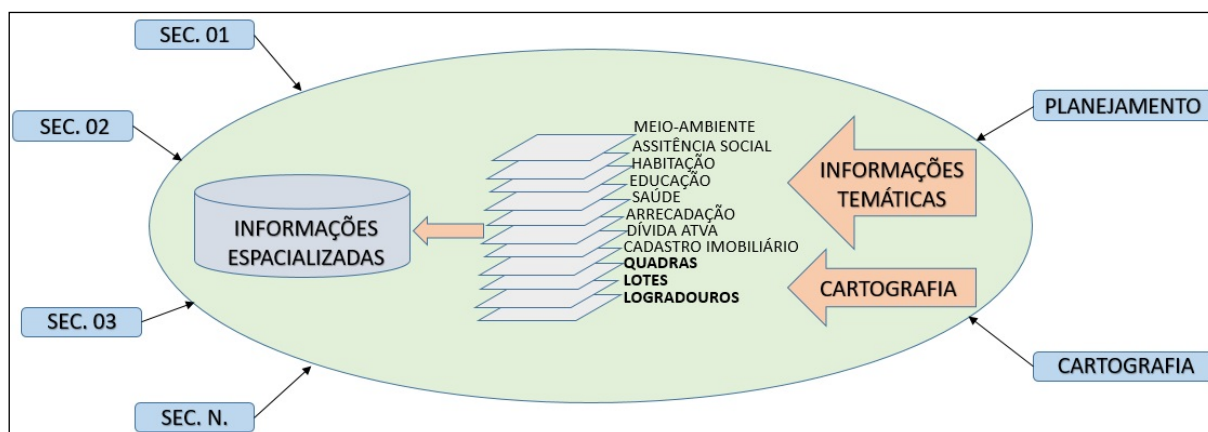


Figura 20.2. Representação ilustrativa do Sistema Municipal de Informações Geográficas (SIMGEO) em sua primeira concepção (2006) da Prefeitura Municipal de Campo Grande. Em negrito têm-se as camadas da base cartográfica.

### 20.2.1. Escala de Trabalho para Bases Cartográficas Urbanas

Como dito anteriormente, devido ao nível de detalhamento das aplicações cartográficas, em áreas urbanas se trabalha com grandes escalas, em algumas literaturas é mencionado o termo escala cadastral. Tal termo foi utilizado pela primeira vez na segunda metade do século XIX pela *Ordnance Survey* (OS) e mencionou as escalas de trabalho a partir de 1:2.500. Naturalmente na atualidade, com a evolução tecnológica, tem-se adotado muito as escalas de 1:1.000 e 1:500 como este tipo de escala.

Obviamente, a escala cadastral é uma grande escala de trabalho, mas quando o termo cadastral é adotado, subentende-se que será a destinada a uma aplicação específica, já que quando se trabalha com essas unidades de valores em áreas urbanas é para a criação de um cadastro urbano geoespacial.

O que se percebe é que serão utilizadas informações de áreas que podem ser grandes, mas que são compostas por áreas pequenas sobrecarregadas de informações, analogamente seria como imaginar uma grande colcha de retalhos, onde cada retalho que a compõe é muito pequeno em relação à área da colcha e traz um volume muito grande de informações. Consequentemente terão situações que será necessário visualizar a área toda, assim como também em outras será necessário visualizar e consultar as informações específicas de uma das pequenas áreas que a compõe.

Existem bases cartográficas de todo território nacional, trata-se de um material cartográfico que passou pelos processos de correção, resultando em um produto de boa qualidade. Estas cartas foram produzidas na segunda metade da década de sessenta, através de ortofotos aéreas realizadas pelo DSG (Diretoria de Serviços Cartográficos) do Exército Brasileiro em conjunto com a USAF (*United States Air Force*).

Tendo ciência da existência de uma base cartográfica para todo o território nacional, vale a pena lembrar que sua utilização para áreas urbanas não atenderia as necessidades, pois devido à sua pequena escala de detalhes, são inadequadas, estas cartas estão disponíveis nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000. Para se ter uma ideia visual de escala, apresenta-se um quadrado com lados de 100 m, o qual seria representado no mapa como um quadrado com lados de 1 mm (ver Figura 20.3).

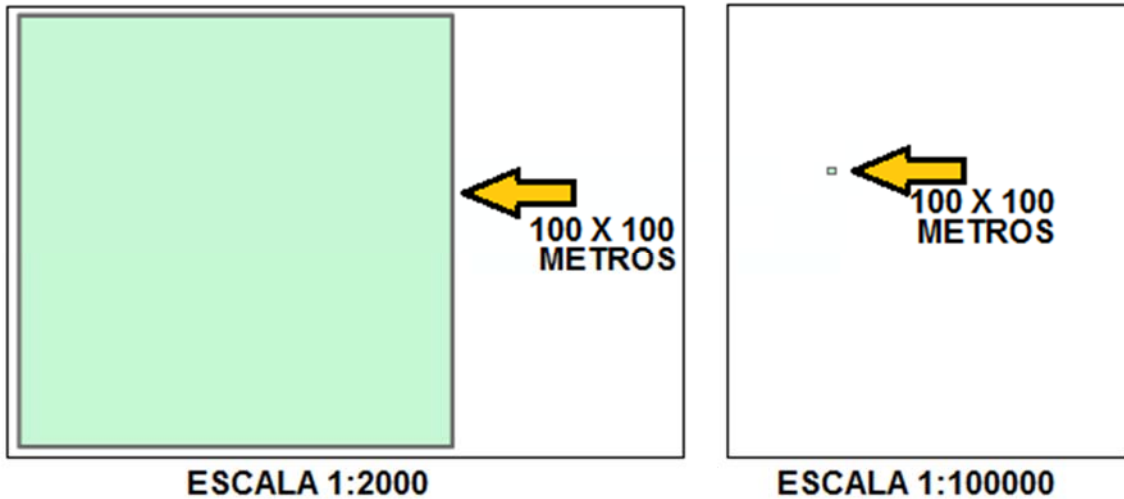


Figura 20.3. Comparação da representação visual de uma quadra com lotes e um quadrado de 100 x 100 m nas escalas 1:20.00 e 1:100.000.

Vale lembrar também a questão temporal referente às cartas do DSG, que além de possuírem escalas muito pequenas, são muito antigas para a utilização em gestão urbana, onde a dinâmica das mudanças é muito rápida.

Torna-se difícil imaginar trabalhos cartográficos em áreas urbanas com uma escala inferior a 1:2.500 (Figura 20.4). Geralmente as escalas usuais para áreas urbanas são 1:2.000 e 1:1.000 e em alguns casos 1:500. É muito importante se ter em mente que é um erro muito grave gerar um produto cartográfico em uma escala menor que a base utilizada para referência (ver Capítulo 5 deste livro).



Figura 20.4. Exemplo de visualização de um loteamento na escala 1:10.000.

### 20.2.2. Informações que Devem Conter uma Base Cartográfica

Uma base cartográfica digital padrão é um conjunto de arquivos vetoriais, portanto deve conter vários níveis de informações de geometria poligonal, desde a área do município até os lotes (algumas bases possuem também as áreas construídas). O eixo de logradouros é a única camada de geometria não poligonal (linear) e em alguns casos pode apresentar camadas pontuais como os marcos geodésicos do limite do município ou do perímetro urbano.

Por se tratar de um produto cartográfico, ao contrário do que muitos pensam, estes mapas possuem valor como documento, não sendo simplesmente ilustrativos. Em muitas vezes, essas informações são utilizadas como subsídios para avaliação de imóveis, desapropriações e outros processos que envolvam valores monetários e questões judiciais. Como todo produto cartográfico profissional, estes produtos devem estar dentro do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (BRASIL, 1984, 2005) e atender as normas cartográficas básicas em suas versões impressas, apresentando no mínimo *grid* de coordenadas, norte, escala gráfica e de texto e as informações utilizadas em sua elaboração, como:

- Sistema de coordenadas;
- Projeção (*datum*, no caso de coordenadas UTM, deve-se informar o fuso correto, meridiano);
- Norte magnético, norte verdadeiro e declinação magnética;
- Escalas numérica e gráfica;
- Data do voo ou coleta das imagens, em se tratando de satélites;
- Reambulação.

A base cartográfica não é apenas uma carta, é um conjunto de cartas de um município que engloba várias camadas contidas dentro dela. No caso do Município de Campo Grande/MS ela é composta por:

- Área do município;
- Área urbana (ou perímetro urbano);
- Regiões urbanas;
- Bairros;
- Parcelamento;
- Quadras;
- Lotes;
- Imóveis;
- Áreas edificadas.

### ***O Município***

O município é uma divisão territorial e administrativa que compõe os estados brasileiros, sendo dotado de personalidade jurídica, certa autonomia administrativa e que possui órgãos políticos e administrativos próprios.

A área do município diz respeito à jurisdição deste. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o Brasil possui 5.570 municípios, estando suas áreas disponibilizadas de forma gratuita no site do mesmo (IBGE, 2016).

### ***Área Urbana***

Deve-se lembrar que o geoprocessamento de áreas urbanas diz respeito à área urbanizada de um município (Figura 20.5), vale a pena destacar que os distritos também são considerados áreas urbanas. A delimitação é reconhecida por lei e a ampliação desta área é feita

através de decisões técnicas de equipes multidisciplinares da própria prefeitura e com consulta a setores da sociedade privada, como Câmara de Valores Imobiliários, Sindimóveis e outros aprovadas pela câmara de vereadores.

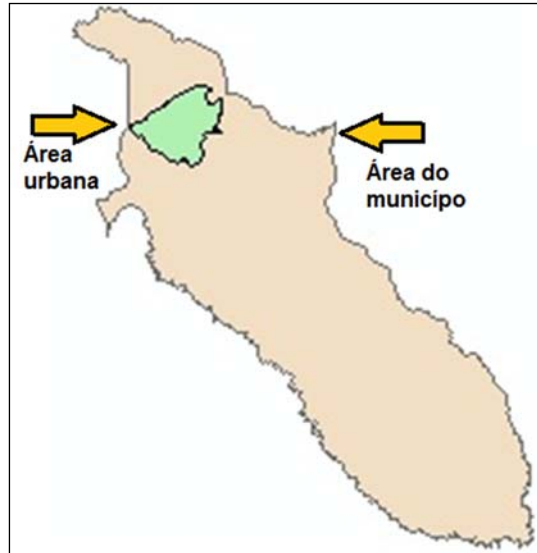


Figura 20.5. Ilustração da área urbana e do limite municipal de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

É interessante lembrar que o regramento para a ocupação da região urbana é diferente da não urbana, o perímetro urbano é composto por vários zoneamentos que disciplinam e regem a ocupação. Estes zoneamentos não são uma parte primária da base cartográfica, mas são de suma importância para que o processo de ocupação da área urbana ocorra de forma correta. Para se traçar os limites do zoneamento deve-se ater ao cuidado que esses limites sejam coincidentes com os eixos de logradouros e desta forma evitar que uma quadra ou até mesmo um lote esteja fazendo parte de duas zonas diferentes (Figura 20.6).



Figura 20.6. Macrozoneamento da área urbana do município de Campo Grande/MS (PMCG, 2019).

Além do regramento da ocupação através do zoneamento, a área urbana também possui um sistema de tributação diferente da área rural, sendo a área urbana regida pelo IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) e a área rural regida pelo ITR (Imposto Territorial Rural), sendo que esses dois impostos contam com alíquotas e sistemas de cálculo diferentes.

### ***Regiões Urbanas***

Devido à grande dimensão em área, as áreas urbanas são divididas em regiões administrativas, de modo a facilitar a sua administração. Esta divisão ocorre de acordo com as suas peculiaridades, sendo maiores que os polígonos do zoneamento e com características diferentes, são chamadas de regiões urbanas (Figura 20.7). Esta é a primeira subdivisão que ocorre dentro da área urbana antes de dividi-la em bairros.

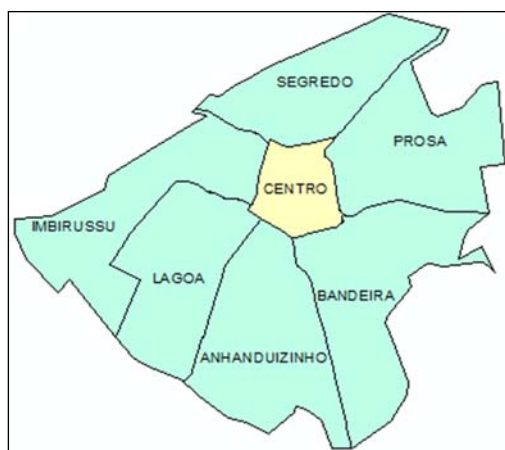


Figura 20.7. Áreas urbanas do Município de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

Assim como o zoneamento, deve-se utilizar como limites para as bordas os eixos de logradouro ou, dependendo do caso, um curso d'água bem definido e deste modo evitar que não corra o risco de um lote ficar com partes em mais de uma região diferente.

### ***Bairros***

Os bairros são divisões de áreas com características próprias dentro de uma área urbana, sendo a referência socioeconômica de uma região (Figura 21.8). Apesar de ser considerada a menor unidade de urbanização, o bairro não é definido como unidade administrativa no poder público.





Figura 20.8. Bairros da região central Município de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

A divisão em bairros é muito antiga, sendo hoje em dia no Brasil mais conhecida como uma delimitação territorial que auxilia na localização e não possui nenhuma função administrativa específica. O bairro traz suas particularidades, sejam elas sociais, econômicas, culturais entre outras. Muitas vezes quando se menciona um bairro já é possível ter noção das condições socioeconômicas do lugar, se é um lugar com muito movimento ou não, se é destinado mais à habitação residencial ou comercial e até mesmo se é um lugar seguro ou perigoso.

Na representação cartográfica sempre deve-se tomar o devido cuidado que nenhum lote caia com partes em mais de um bairro.

### **Parcelamento**

Embora citado há pouco como sendo o bairro a menor unidade de urbanização, tem-se dentro dos bairros os parcelamentos ou loteamentos. Esta subdivisão diz respeito quando um loteamento é criado, naturalmente ele será criado dentro um bairro. O parcelamento tem como foco a edificação, isto é, é a divisão de uma área dentro do bairro composta por unidades juridicamente independentes, conhecidas como lotes (Figura 20.9).



Figura 20.9. Parcelamentos bairro Jardim dos Estados do Município de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

O loteamento é definido como a divisão de gleba em lotes com destinação específica, podendo ser de finalidade residencial, industrial e outras mais. O processo de criação de um loteamento urbano consiste na subdivisão de uma área de grandes dimensões, chamada de gleba, em pequenas porções que são chamadas de lotes, destinados à edificação, sendo para isto necessária a abertura de novas vias de circulação.

Segundo a Lei Federal n.º 6.766/79 - "considera-se loteamento a subdivisão de gleba em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes" (BRASIL, 1979).

### **Quadras**

As quadras são unidades fundiárias cercadas por vias de acesso. Em alguns casos, um dos lados de uma quadra pode ser delimitado por um curso d'água, situação característica de invasão de áreas de fundo de vale (Figura 20.10). Pode ser definida também a agregação espacial dos lotes. A quadra tem no mínimo um lote.

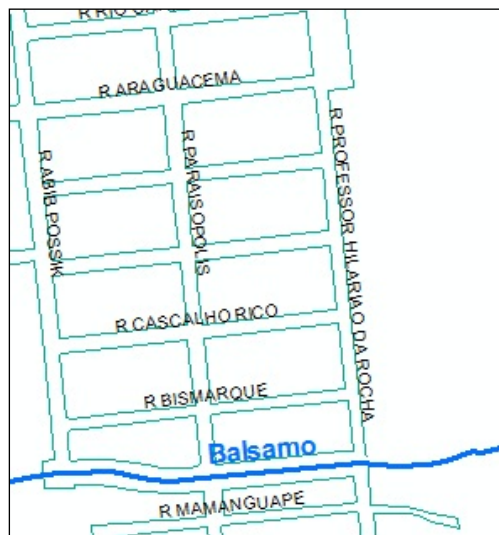


Figura 20.10. Exemplo de quadras do Município de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

O que delimita as quadras não é o meio-fio, mas sim o alinhamento predial, sendo que o alinhamento predial é classificado como definido ou indefinido. Alinhamento predial definido é aquele em que existe alguma estrutura física (parede, muro, cerca) que permite a sua visualização. Já o indefinido não possui nenhuma estrutura física que o delimite visualmente. Neste caso, a sua demarcação só é possível a partir das informações cadastrais do mesmo (Figura 20.11).



20.11. Alinhamentos definido e indefinido (PMCG, 2013).

Os vetores dos alinhamentos prediais são obtidos em campo a partir dos trabalhos de aerofotogrametria e é de grande utilidade para a conferência da base cartográfica através da confrontação dos vetores existentes e a realidade levantada em campo. Deve-se lembrar que o que delimita o alinhamento predial é o limite do lote estipulado legalmente e não o limite físico construído (Figura 20.12).



Figura 20.12. Formas errada e correta de vetorizar o alinhamento predial (PMCG, 2013).

Uma forma prática de desenhar as quadras dentro de um SIG é através do *merge* dos vetores dos lotes, uma vez que a borda externa dos lotes (*face*) terá que ser coincidente com as bordas da quadra, sendo ela uma estratégia que garante que os lotes manterão as dimensões. É comum chamar o lado do lote coincidente com as quadras de *face de quadra*, mas, quando nos conceitos de gestão urbana, *face de quadra* é o lado que fica de frente ao eixo de logradouros, ocorrem casos que a borda *face* do lote não coincide com o eixo de logradouros, um exemplo é o caso dos lotes que são delimitados por um curso d'água.

### ***Lotes***

O lote é a unidade fundiária destinada à edificação, em algumas literaturas é tratado por parcela. Deve possuir ao menos um lado frontal à via pública (*testada*) e, dependendo de suas dimensões, pode ser dividido (*desmembramento*) ou adicionado (*remembramento*).

A Lei 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979) define que o parcelamento do solo para fins urbanos pode ser realizado nas formas de loteamento, desmembramento e

fracionamento. O loteamento é a subdivisão de gleba em lotes destinados à edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação dos já existentes.

Na base cartográfica os lotes são os vetores de maior importância, uma vez que serão os lotes que irão constituir a base vetorial do cadastro imobiliário. Na representação gráfica, os lotes são as divisões internas das quadras, embora em alguns casos podem ocupar a área total da quadra, porém um mesmo lote não pode ocupar mais de uma quadra (Figura 20.13).



Figura 20.13. Exemplo de lotes do Município de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

Ao trabalhar com cartografia urbana, existem os critérios de definições corretas a serem levados em consideração, muitos leigos chamam o lote de terreno, embora sendo mais criterioso, tratam-se de definições diferentes:

- Lote: É uma subdivisão do terreno, sendo destinada exclusivamente à edificação, um conjunto de lotes formam uma quadra e em alguns casos específicos um único lote compõe a quadra;
- Terreno: É uma definição genérica de um pedaço de terra podendo ser rural ou urbano sem finalidade de uso definida.

Gleba é definida pela Lei nº 6.766/79 como sendo uma porção de terra que não tenha sido submetida a parcelamento (BRASIL, 1979), ou seja, é aquela porção de terra que nunca foi loteada ou desmembrada atendendo às exigências da Lei, não está destinada à habitação, sendo que muitas, inclusive, apresentam características rurais, onde se presencia pequenos cultivos e outras encontram-se desocupadas como parte dos vazios urbanos, diferente dos parques e áreas de conservação, estas glebas destinam-se à especulação imobiliária.

Lote e terreno: de uma forma mais generalizada, pode-se dizer que um lote é um terreno, mas tecnicamente possuem definições diferentes, pois lote é uma porção do terreno, isto é, uma divisão do terreno e o conjunto de lotes compõem a quadra. Terreno é uma porção de terra, que pode ser urbana ou rural, podem ser vendidos inteiro ou em lotes.

Os lotes precisam conter infraestrutura básica (vias de acesso, rede de água, rede de esgoto, espaço destinado aos equipamentos urbanos públicos e outros) para serem aprovados de acordo com a legislação exigida pelo município.

### ***Unidade Imobiliária***

A unidade imobiliária é a representação jurídica do lote. É o que dá caráter legal ao lote. Seus vetores são os mesmos do lote, mas a partir do momento de sua criação, ele é vinculado à

tabela de atributos do cadastro imobiliário como inscrição imobiliária, proprietário, uso, valor venal e outros.

Quando se refere ao uso do imóvel, este é classificado em predial (edificado) ou territorial (não edificado), informação que refletirá no valor das alíquotas dos impostos, visto que o poder público considera um imóvel territorial como uma área destinada à especulação imobiliária, já que encontra-se em um local que tem toda a infraestrutura urbana disponível e não a utiliza. Por isto possui alíquota maior do se estivesse ocupada por uma edificação (predial), pois na forma da interpretação do poder público, estaria assim cumprindo a função social a qual foi destinado.

É interessante ter ciência que um mesmo lote pode ter mais de uma inscrição imobiliária, mas o contrário não é possível. Em um SIG seria um vetor estar vinculado a mais de uma tabela. Esta relação entre elementos que se vinculam a partir de uma informação em comum é chamada de cardinalidade e pode ter a relação de um para um ou um para muitos (Figura 20.14). Um exemplo é o que ocorre com os condomínios ou edifícios, onde cada unidade de habitação tem sua inscrição imobiliária dentro de um mesmo terreno. Entretanto, a recíproca de um imóvel em mais de um lote não é possível.

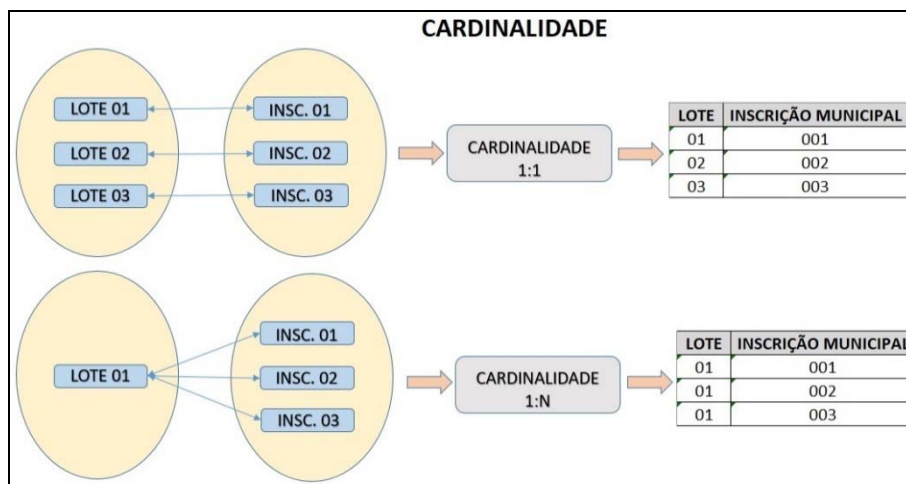


Figura 20.14. Cardinalidade 1:1 e 1:N, no caso 1:3.

Inscrição imobiliária (índice cadastral) é o número da Inscrição do Imóvel que será averbado no órgão público municipal junto ao Cadastro Imobiliário do Município (Figura 20.15), ou seja, a partir do instante da criação da inscrição imobiliária o lote passa ser parte integrante do cadastro imobiliário do município. É a mesma inscrição que é utilizada para o IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Não se deve confundir a inscrição imobiliária com a matrícula do imóvel.

Conforme o Art. 176 da Lei de Registros Públicos, Lei 6015/73: "Art. 176 - O Livro 2 - Registro Geral - será destinado à matrícula dos imóveis e ao registro ou averbação dos atos relacionados no art. 167 e não atribuídos ao Livro nº 3" (BRASIL, 1973).

A unidade imobiliária é a essência de uma base cartográfica urbana já que muitas outras informações importantes são dependentes desta camada. Sem esta não seria possível realizar os trabalhos de tributação, determinar as plantas de valores urbanos, distinguir áreas



públicas de privadas, aprovar construções e outras tarefas a mais indispensáveis à administração pública municipal.

INSCRIÇÃO	1010101010	COLETA DE LIXO	S
RUA DO IMÓVEL	PROF ANTONIO PARANHOS	TRANP. COLETIVO	S
N° DE PORTA	1620	ESGOTO	S
PARCELAMENTO	BAIROVILA NOVA SECCAO A	ILUM. PÚBLICA	S
QUADRA	16	LIMPEZA	S
LOTE	11	MEIO-FIO	N
PROPRIETÁRIO	JOSE DA SILVA	PAVIMENTAÇÃO	N
USO DO IMÓVEL	TERRITORIAL	REDEELETRI	S
PATRIMÔNIO	PARTICULAR	AREA DO LOTE	120,00
TESTADA	42,00		
N° DE TESTADAS	02		

Figura 20.15. Exemplo de dados do cadastro imobiliário que ajudam compor o IPTU.

A inscrição imobiliária é a forma mais segura de se identificar um imóvel em um sistema de geoprocessamento, pois não pode haver duas inscrições imobiliárias idênticas no mesmo cadastro imobiliário. Outras formas utilizadas são a partir do nome do logradouro e do número de porta (endereço), nem sempre tão confiável, pois funciona somente para os imóveis prediais que possuem número de porta correto. Uma outra maneira de encontrar um imóvel em um cadastro é através do nome do parcelamento, do número da quadra e do número do lote.

### *Área Edificada*

Em alguns cadastros o nível de detalhamento da base cartográfica vai mais além, chegando às áreas edificadas que vem ser as áreas das projeções ocupadas pelas edificações (Figura 20.16). No caso, área edificada é definida como uma área construída com cobertura superior ao pé-direito mínimo estipulado pela lei de uso do solo de cada município.



Figura 20.16. Áreas construídas dentro dos respectivos lotes (PMCG, 2013).

Por certo, em um lote poderá haver mais de uma unidade edificada (Figura 20.17). Não confundir com inscrição imobiliária, muitas vezes uma mesma inscrição imobiliária pode ter mais de uma unidade edificada, um exemplo claro seria uma casa com uma edícula utilizada como residência unifamiliar. As informações referentes às unidades edificadas são levantadas a partir do boletim de informações cadastrais (BIC), que descreve as características da unidade de edificação.

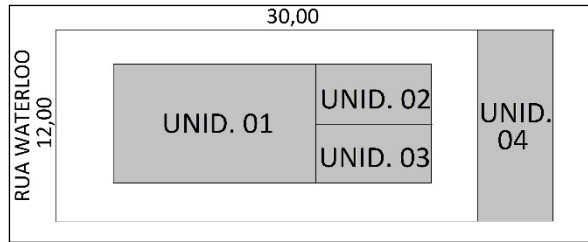


Figura 20.17. Exemplo de quatro unidades edificadas no mesmo lote.

**Eixo dos Logradouros**

O eixo de logradouros (Figura 20.18) é o termo técnico que designa as vias de acesso oficiais do município. É natural que se associe este termo ao arruamento, mas deve-se atentar que não diz respeito somente às ruas, mas também às avenidas, travessas, alamedas, becos, acessos e outras mais.

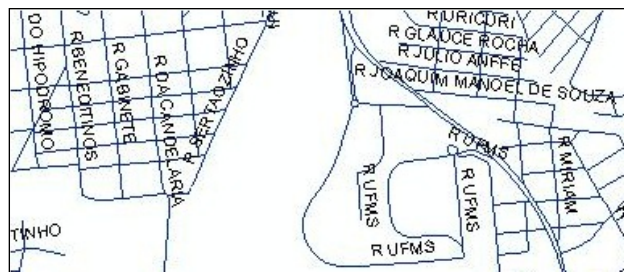


Figura 20.18. Amostra dos eixos de logradouros de Campo Grande/MS (PMCG, 2013).

O eixo dos logradouros é a única camada da base cartográfica de geometria não poligonal, sendo de geometria linear. Entretanto, é obvio que, ao se observar as vias de circulação de uma cidade, nota-se que elas possuem áreas. Isto é, as vias de circulação têm larguras, que são as distâncias entre os alinhamentos prediais que estão no mesmo trecho de via, destinadas ao rolamento de veículos. As larguras são chamadas popularmente de caixa de rua, a largura é a distância ente os alinhamentos prediais que estão no mesmo trecho de via.

Então, em um SIG, o eixo logradouro ou *centerline* é uma camada linear que representa o eixo central usado como referência das vias públicas, sendo composta por vários segmentos de linhas situadas de forma equidistante entre os alinhamentos prediais. Cada segmento de reta inicia e finaliza ao longo das testadas das quadras ou quando são interceptados por outro eixo de logradouros. O início e o final de cada eixo logradouro muitas vezes é tratado por nó (Figura 20.19).

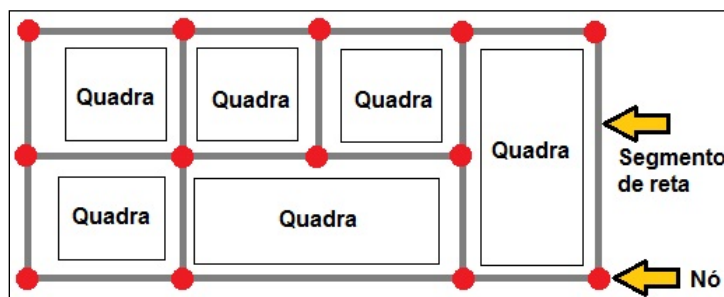


Figura 20.19. Esquema hipotético dos segmentos de reta que compõem o eixo de logradouros.

A vantagem de considerar estas vias como linhas está no fato de possibilitar a definição de direção, sentido e contiguidade. A contiguidade é a simples relação entre dois lugares que tenham uma fronteira comum (Figura 20.20). Desta forma, pode-se estipular em um segmento de reta que todas as unidades do lado esquerdo, partindo do início para o final, sejam ímpares e do lado direito sejam pares. Este é o princípio básico para a criação de um sistema de endereçamento.

Outra importância da representação linear dos eixos de logradouros é o fato dessas linhas serem usadas como delimitação de outras entidades, como regiões urbanas, bairros, parcelamentos, setores de cálculo e outras.



Figura 20.20. Esquema do princípio da contiguidade usada para endereçamento.

O eixo de logradouros é composto por segmentos de retas que iniciam e terminam com um nó (*node*) (Figura 20.20), lembrando que, pelo fato de se tratar de vetores, deve-se considerar direção e sentido e o comprimento do segmento de reta. Com isso, é possível informar ao sistema onde a rua começa e termina, informar qual é o sentido da via ou se é de mão dupla, identificar os lados direito e esquerdo da via de forma que seja possível representar a numeração das casas.

## 20.4. Parcelamento do Solo Urbano

Devido à dinâmica da ocupação do solo, os solos passam por processos de modificações constantes e de curto prazo e as equipes técnicas que trabalham com geoprocessamento em prefeituras municipais devem estar sempre atentas às modificações que ocorrem nos processos que modificam as formas dos lotes. Estas alterações precisam de aprovações prévias do órgão competente municipal e, naturalmente, serem informadas aos cartórios de registro de imóveis.

No sistema de geoprocessamento devem ser inseridas modificações ou novos loteamentos aprovados, os profissionais devem se ater ao momento correto de inserir estas informações no sistema, não deixando um prazo muito longo e inseri-las somente após o processo de aprovação ter se findado. A pressa em inserir os dados antes da conclusão do processo de aprovação acaba por criar confiabilidade no sistema de geoprocessamento, uma vez que estaria apresentando dados que não condizem com a realidade legal

Os vetores (desenhos) utilizados deverão ser do mesmo arquivo proveniente do setor de aprovação, como forma de evitar que se editem os mesmos vetores e assim evitar eventuais desconformidades com o risco do sistema de geoprocessamento possuir desenhos com medidas diferentes do setor de aprovação de projetos de parcelamento do solo. De uma forma mais simplista, a equipe do sistema de geoprocessamento é cliente da equipe de aprovação de projetos, ou seja, utiliza o mesmo arquivo.

Para o perfeito funcionamento do sistema de geoprocessamento, este deverá ser a etapa final do processo, pois ao inserir ou modificar lotes se deve ter certeza da veracidade da informação inserida, as características do lote deverão coincidir com as mesmas aprovadas no processo e com as informações de cartório. Muitas vezes há desintegração entre o fluxo de informações e os cartórios de registro de imóveis, mas durante os processos de parcelamento do solo, o poder público ou, em alguns casos, o requerente deverá informar aos cartórios sobre as mudanças.

### ***Desmembramento***

Como a origem do nome já diz, desmembramento vem de desmembrar, ou seja, separar. No caso de parcelamento do solo, dividir uma gleba em dois ou mais lotes menores. Neste caso, nem sempre o desmembramento será dedicado às edificações, mas à partilha da área simplesmente.

Embora o processo de desmembramento forme um número maior de lotes em relação à situação anterior, não pode ser confundido com o processo de loteamento, pois no processo de desmembramento não são abertas novas vias de acesso (logradouros). Do ponto de vista urbanístico, o processo de desmembramento reflete como o aumento da densidade da ocupação da área, com áreas cada vez mais menores e mais ocupadas.

### ***Desdobro***

Embora os processos sejam muito parecidos, desmembramento e desdobro, no caso deste último, possuem algumas particularidades, isto é, o desdobro é um caso específico de desmembramento, não sendo contemplado pela Lei Federal 6.766/79 (BRASIL, 1979), mas é regido pela legislação municipal. Desdobro é a divisão feita em um lote já existente para formação de dois ou mais novos lotes (Figura 20.21).

Como são destinados à edificação, estes lotes devem ter frentes (testadas) para as vias de acesso oficiais já existente, sem a necessidade de abertura de novas vias ou prolongamento das vias já existentes. De uma forma resumida, a principal diferença entre desmembramento e desdobro é que desmembrando é a subdivisão da gleba e desdobro, do lote.

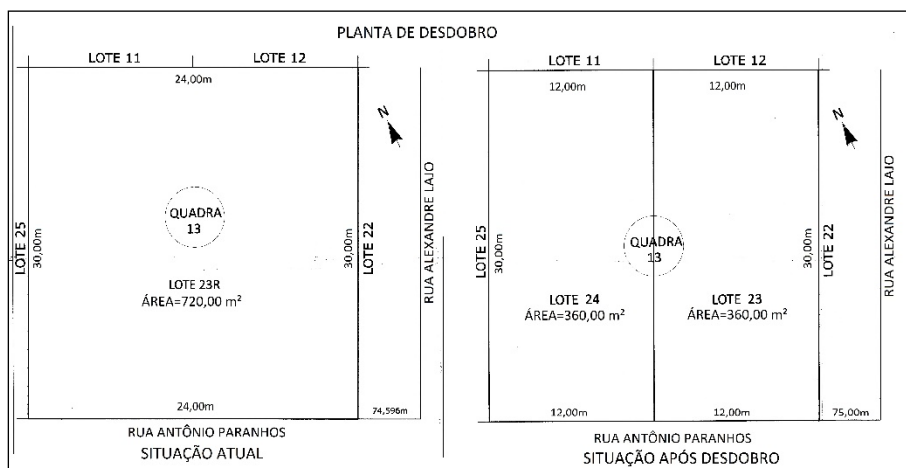


Figura 20.21. Processo de desdobro.

Deve se ater ao que diz a Lei de Zoneamento em relação à zona onde se encontra o lote, uma vez que o desmembramento do lote não pode gerar com dimensões menores que as dimensões mínimas estipuladas pela Lei de Zoneamento onde se encontra (Figura 20.21).

### **Remembramento**

O processo de remembramento é contrário ao processo de desmembramento, quando for parte de uma gleba e desdobro, quando for parte de um lote. Diz respeito à união de dois ou mais lotes limítrofes entre si para formar um único lote com área equivalente à dos lotes que foram remembrados (Figura 20.22).

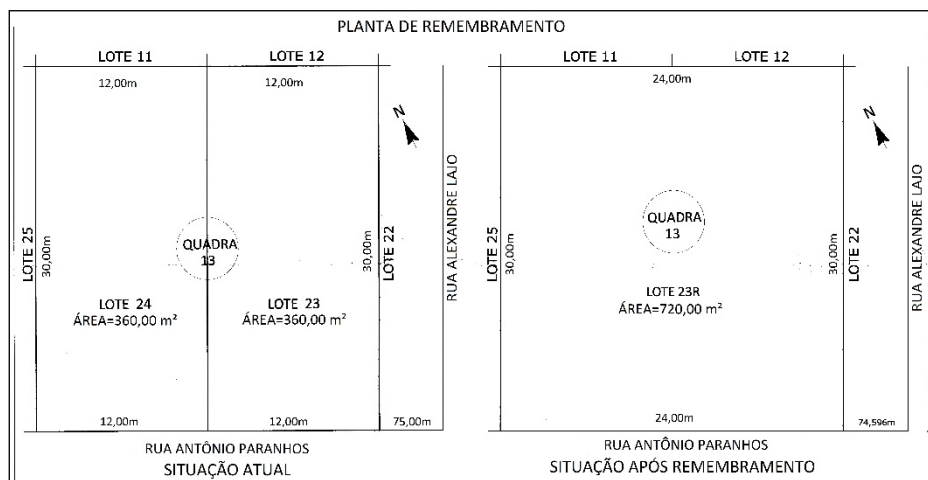


Figura 20.22. Processo de remembramento.

## 20.5. Mapas Temáticos Urbanos

### **Zoneamento Urbano:**

Embora não faça parte dos arquivos básicos que compõem a base cartográfica, o zoneamento reflete diretamente nos processos de parcelamento dos lotes quanto às suas permissões. O zoneamento é um instrumento de regimento constituído pela legislação municipal que disciplina o uso e a ocupação do solo urbano.



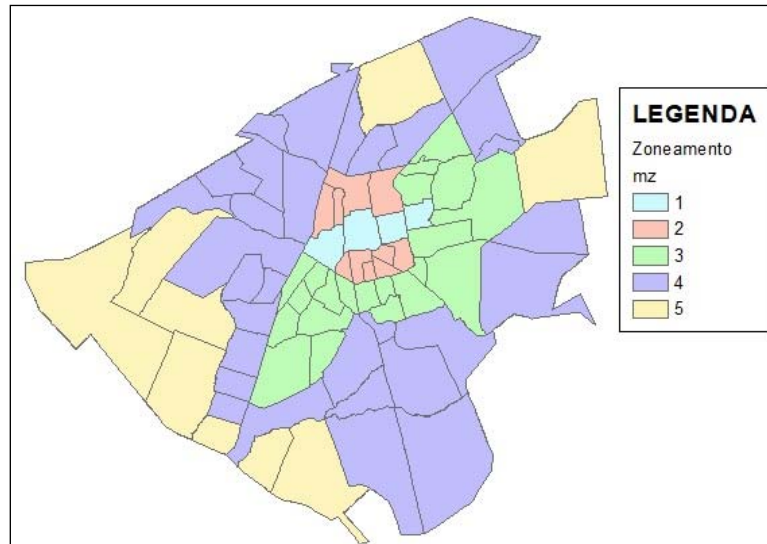


Figura 20.23. Zoneamento do perímetro urbano do município de Campo Grande (PMCG, 2019).

### ***Setores de Cálculo:***

A melhor definição de setor de cálculo é como o valor atribuído a uma região com intuito de realizar avaliações com a finalidade de tributação, simplificando a avaliação de massa de imóveis do município através de uma planta de valores genérica, Figura 20.24.



Figura 20.24. Setores de Cálculo do perímetro urbano do município de Campo Grande (PMCG, 2013).

### ***Outras informações temáticas que podem ser espacializadas***

Partindo do princípio de que toda informação que pode ser especializada pode também ser mapeada e com base na ampla gama de informações dentro de uma área urbana, é possível criar mapas com os mais variados temas, como saúde, educação, meio-ambiente, hidrografia e outros tantos mais.

Embora alguns mapas temáticos, como a carta geotécnica, por exemplo, sejam obrigatórios para os Planos Diretores, não existe uma regra quanto às escolhas dos temas

cartográficos para o acervo dos municípios, surgindo de acordo com necessidades específicas. É interessante ter em mente que a criação de um mapa temático sem a utilização das informações da base cartográfica resulta muitas vezes em uma representação gráfica de pouco sentido (Figura 20.25).

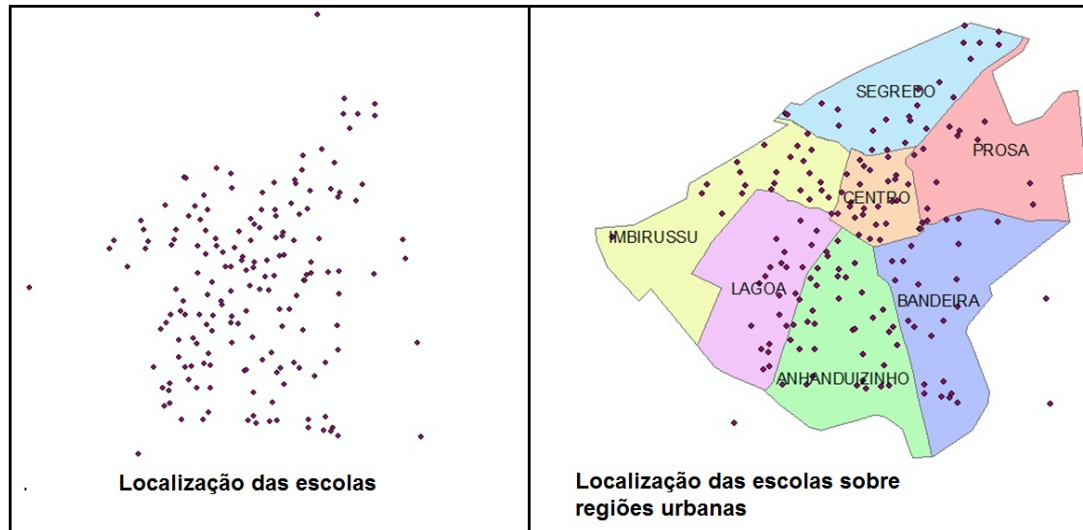


Figura 20.25. Exemplo da elaboração de um mapa temático sem o uso da base cartográfica (à esquerda) e com a base cartográfica (à direita) (PMCG, 2013).

## 20.6. Como Obter uma Base cartográfica?

Certamente, quando um administrador municipal decidir pela implantação de um SIG para a área urbana de seu município, a primeira pergunta que ouvirá da equipe a ser contratada será: “A área já tem base cartográfica pronta?”

Como explicado anteriormente, a implantação de um sistema de informação geográfica em uma prefeitura é uma tarefa que requer atenção especial, pois é uma das etapas mais importantes para a implantação desse sistema. O sucesso ou o fracasso do sistema está diretamente relacionado à base cartográfica.

Devido ao fato de ser uma das etapas mais caras da implantação do sistema, é natural buscar economia. Por isso, deve-se realizar um bom planejamento, mas ter muito cuidado ao optar por “tecnologias alternativas”. Assim, recomenda-se seguir pelo caminho tradicional e mais seguro, evitando posteriores complicações.

O caminho mais seguro é o que vem sendo aplicado e vem dando certo. Quando se almeja elaborar a base cartográfica de uma área urbana, a opção por aerofotogrametria é a ideal, ainda mais se tiver pretensões de se trabalhar em escalas de detalhes como 1:2.000 ou 1:1.000.

Engana-se quem pensa que após o voo o trabalho está concluído, este passo é apenas a etapa inicial do trabalho. Será necessário através de controle de campo e de laboratório as seguintes tarefas:

- Cobertura aerofotogramétrica;
- Reambulação;
- Controle dos pontos no terreno para georreferenciamento e aerotriangulação;

- Vetorialização das curvas de nível do terreno;
- Geração do modelo digital de superfície (MDS) e modelo digital de terreno (MDT) da área;
- Correção geométrica das fotos e ortocorreção;
- Restituição planimétrica;
- Implantação da RRCM (rede de referência cadastral municipal).

Reambulação é a coleta de dados em campo que não podem ser obtidos pela foto aérea. Possui a finalidade de levantar informações para a complementação dos trabalhos executados no campo, como por exemplo a denominação (toponímia) dos acidentes, numeração das casas, etc.

O levantamento altimétrico do terreno consiste em coletar os pontos para a elaboração das curvas de nível. Dependendo da escala que se pretende obter a base cartográfica é necessário o levantamento das curvas de nível de metro em metro. É uma tarefa realizada em campo com pessoal e equipamentos adequados.

Após a coleta dos pontos no terreno, inicia-se a vetorização das curvas de nível em um SIG, tendo como produto a carta com as curvas de nível. Com estas informações é possível fazer a modelagem em ambiente SIG e obter o DEM (modelo digital de elevação) que auxiliará na ortocorreção das fotos.

Após o georreferenciamento e ortocorreção das fotos, pode-se iniciar a vetorização em ambiente SIG das linhas e polígonos, geralmente alinhamento predial definido e indefinido para em seguida vetorizar outras informações, como eixos de logradouros, quadras e lotes que comporão a base cartográfica.

A RRCM é composta pelos marcos geodésicos que definem os vértices da área oficial do perímetro urbano (Figura 20.26) e contam com o apoio dos marcos do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) para o seu ajustamento, sendo estes últimos homologados pelo IBGE.

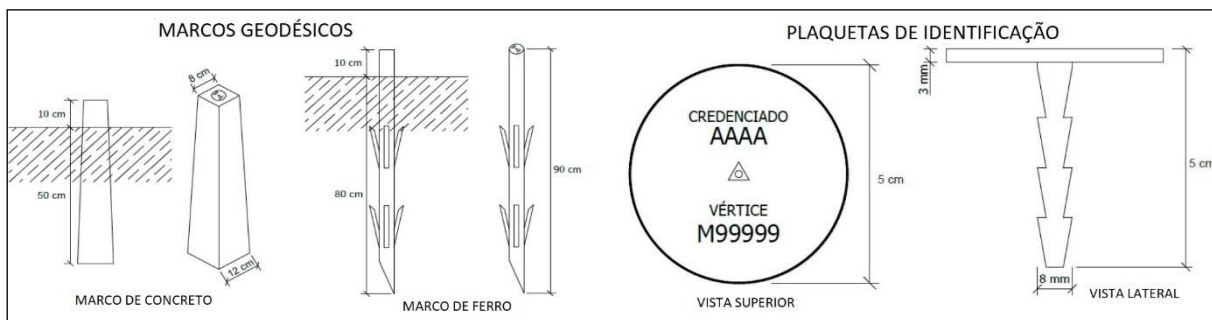


Figura 20.26. Marcos geodésicos oficiais e plaqueta de identificação (AEAAS, 2019).

## 20.7. Ortofotos x Imagens de Satélite de Alta Resolução – Qual Usar?

Com a chegada da disponibilidade dos satélites civis de alta resolução espacial, em especial o IKONOS, no final dos anos noventa, o cenário do geoprocessamento em áreas urbanas

começa a se modificar e os satélites passam a ser uma opção mais econômica para a obtenção de bases cartográficas na escala 1:5.000.

Mesmo assim, o recomendado nos dias de hoje é que a elaboração da primeira base cartográfica seja feita através de ortofotos. Isso possibilita a obtenção de um produto com uma melhor escala de detalhes. Uma vez tendo uma base cartográfica precisa e confiável será possível utilizar-se das imagens de satélites de alta resolução para as posteriores atualizações.

Até o momento as ortofotos ainda possuem resolução espacial superiores às imagens de satélites. Porém, ao que tudo indica, essa situação logo mudará, pois alguns satélites já apresentam resolução espacial de 0,41 m na banda pancromática, como o GeoEYE por exemplo, sendo que em média a resolução espacial das ortofotos está entre 0,10 e 0,06 m (ver Capítulo 3.1.2). Porém, comercialmente o que se tem conseguido são imagens de satélites com no máximo 0,50 m de resolução espacial, valor aquém quando se almeja chegar em uma escala maior que 1:2.500.

Outra forma que tem sido buscada para a obtenção de ortofotos é através de RPAs (Aeronaves Remotamente Pilotadas), as quais têm se tornado cada vez mais populares, inclusive com equipamentos dotados com GPS RTK (*real time kinetic*) e PPK (*post processed kinetic*). Com esses equipamentos é possível chegar a um erro de posicionamento de 0,08 m. Entretanto, tem-se que levar em conta que geralmente as áreas urbanas são grandes e cheias de obstáculos, o que já dificulta o pouso e a decolagem de aeronaves não tripuladas de asa fixa e a área muito grande torna a utilização de aparelhos multirrotores muito demorada.

## 20.8. Google Maps e Google Earth

O *Google Maps* é um aplicativo gratuito com consulta pela *internet* e que tem por finalidade auxiliar o usuário na busca de endereços, com opções de busca como “como chegar”, de modo que, fornecendo o local de partida e o destino de chegada, ele te mostra as opções de caminhos para chegar ao destino final.

Pode ser utilizado também para navegação pelo cursor, mostrando os mapas (vetores) em nível de quadra ou as imagens de satélites, no caso as mesmas imagens utilizadas pelo *Google Earth*.

O *Google Earth* é um *software* semelhante ao *Google Maps*, o qual disponibiliza um conjunto de imagens e vetores do mundo inteiro. Trata-se de um ótimo produto para fins didáticos e para GPS de navegação e que, muitas vezes, têm levado administradores públicos desinformados a se sentirem tentados para sua utilização como base cartográfica para implantações de sistemas de geoprocessamento.

Utilizar as informações de ambos os *softwares* da *Google* para a elaboração de bases cartográficas tem impeditivos tanto no critério legal quanto no critério técnico.

### Do ponto de vista legal

“Uso do *Software*. Para um usuário final individual, o *Software* é disponibilizado e pode ser utilizado por você somente para seu uso pessoal e não comercial, de acordo com estes Termos de Serviço do *Google* e a documentação do *Software*. Para um usuário final de entidade comercial ou entidade governamental, o *Software* pode ser utilizado por você e por seus

funcionários para uso interno de acordo com estes Termos de Serviços do *Google* e a documentação do *Software*. (doravante, usuários finais individuais, usuários finais comerciais e governamentais são coletivamente chamados de você).

Restrições. Exceto quando for especificamente licenciado pelo *Google*, você não poderá usar o *Software* em conexão com quaisquer produtos, sistemas ou aplicativos instalados ou conectados a ou em comunicação com meios para ou em conexão com: (a) orientação de rota em tempo real (incluindo, sem limitação, orientação de rota detalhada e outra rota ativada através do uso de sensor); (b) quaisquer sistemas ou funções para controle automático ou autônomo do comportamento do veículo ou (c) expedição, gerenciamento de frota ou aplicações semelhantes. Você não pode usar o *Software* de modo a permitir que você ou outra pessoa tenha acesso a downloads em massa ou feeds em lote de coordenadas numéricas de latitude e longitude. Você concorda em não usar o *Software* para qualquer impressão em lote ou para o download de imagens, dados ou outro conteúdo..."

### DIREITOS RESERVADOS

a. *Google* Você reconhece que (a) o *Software* contém informações reservadas e confidenciais protegidas por leis de propriedade intelectual aplicáveis e outras leis, e (b) o *Google* é proprietário de todos os direitos, títulos e participações referentes ao *Software* e a qualquer outro aplicativo fornecido junto com o *Software*, incluindo, sem limitação, todos os Direitos de Propriedade Intelectual vinculados ao *Software*. "Direitos de Propriedade Intelectual" significa todo e qualquer direito existente periodicamente sob as leis de patente, de copyright, de segredo comercial, de marca comercial, de concorrência desleal e todos os outros direitos proprietários, bem como sob todos os aplicativos, renovações, extensões e restaurações decorrentes, agora ou doravante vigentes no mundo inteiro. O usuário concorda que não fará nem permitirá a terceiros fazer o seguinte: (i) copiar, vender, licenciar, distribuir, transferir, modificar, adaptar, traduzir, preparar obras derivadas, descompilar, fazer engenharia reversa, desmontar ou tentar obter o código-fonte do *Software*, salvo havendo eventual permissão; (ii) tomar qualquer providência para burlar ou anular as regras de segurança ou utilização de conteúdo fornecidas, implementadas ou impostas por qualquer funcionalidade (incluindo, sem limitação, a funcionalidade de gerenciamento de direitos digitais) oferecida no *Software*; (iii) usar o *Software* para acessar, copiar, transferir, transcodificar ou retransmitir conteúdo violando qualquer lei ou os direitos de terceiros; ou (iv) remover, ocultar ou alterar avisos de direito autoral, de marca registrada ou outros avisos de direitos proprietários do *Google* afixados ou contidos no *Software* ou acessados em conjunto com o *Software*.

O conteúdo apresentado a você como parte do *Software*, incluindo, mas não limitado a imagens fotográficas e dados cartográficos (o "Conteúdo") é protegido por Direitos de Propriedade Intelectual pertencente ao *Google*, aos seus terceiros licenciadores e parceiros, e a outros que fornecem esse Conteúdo ao *Google*. Você não pode permitir, nem lhe será permitido copiar, distribuir, exibir, modificar ou mesmo utilizar de outra forma o Conteúdo, exceto como ele foi fornecido a você pelo *Software*, a menos que você tenha sido orientado especificamente pelo *Google* ou pelos donos desse Conteúdo para fazê-lo, em contrato separado. O *Google* e seus licenciadores não representam ou garantem a exatidão ou integridade dessas informações.

b. Terceiros. Dados para conteúdo de mapas no *Software* são fornecidos sob licença dos licenciadores do *Google*, incluindo a *Tele Atlas North America, Inc.*



("TANA") (os "Dados da TANA"), e estão sujeitos aos direitos de propriedade intelectual pertencentes a ou licenciados pela TANA e outros licenciantes. Você concorda em não realizar, e pode ser responsabilizado por qualquer cópia ou divulgação não autorizada deste material. Você não pode usar ou distribuir informações de mapa para fins comerciais. Usando o *Software*, você concorda em tornar a TANA um terceiro beneficiário deste contrato. Seu uso dos Dados da TANA está sujeito a restrições adicionais localizadas na página de Avisos Legais" (GOOGLE EARTH, 2014).

### **Do ponto de vista cartográfico**

O mosaico que compõe o *Google Earth* é um conjunto de imagens de satélites de alta e baixa resolução espacial. Onde se tem área imageada pelos satélites de alta resolução é possível observar uma imagem com mais riqueza de detalhes, sendo possível ver com clareza as quadras, os arruamentos, a cobertura dos prédios etc.

Mesmo deixando de lado o aspecto legal, utilizar as imagens de satélite do *Google Earth* como base cartográfica é um péssimo negócio, uma vez que se desconhece informações importantes, como o erro de georreferenciamento das imagens. Não se sabe se elas foram ortocorrigidas e com qual qualidade elas foram tratadas. Resumindo, tecnicamente as imagens do *Google Earth* não servem para serem utilizadas na elaboração de uma base cartográfica.

Alguns municípios presentes no *Google Earth* não apresentam imagens IKONOS. Nestes locais a situação é ainda pior, pois contam somente com imagens Landsat, cuja resolução espacial é muito baixa para o uso em base cartográfica (30 m).

## **20.9. Cadastro Imobiliário Municipal**

É o conjunto de dados responsável pela descrição das características físicas do imóvel, tem como função principal fornecer informações sobre os imóveis para fins de tributação e outros serviços realizados pelas prefeituras municipais. Deve-se lembrar que, para finalidades jurídicas, o que deve ser considerado é a matrícula do imóvel em cartório, pois a integração entre cartório e prefeitura ainda não é perfeita nos dias de hoje.

Os dados do cadastro imobiliário são dados tabulares que para serem especializados precisam ser vinculados aos vetores dos lotes e para isto é necessária uma chave para a junção, processo realizado dentro de um SIG (Figura 20.27).

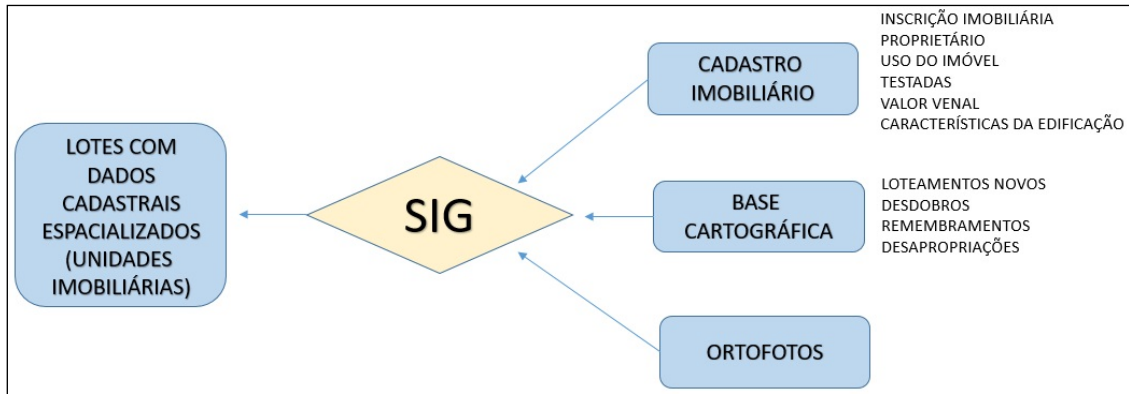


Figura 20.27. Esquema da espacialização das informações tabulares do cadastro imobiliário.

## 20.10. SIG – Sistema de Informações Geográficas

É sabido que tentar atender as exigências descritas pelo Plano Diretor sem uma ferramenta de gestão de informações geográficas seria uma tarefa humanamente impossível, pois é necessário conseguir a integração de informações tabulares com informações cartográficas de modo que nunca se alcançaria os objetivos desejados (Figura 20.28), além de desperdiçar recursos públicos em vão.

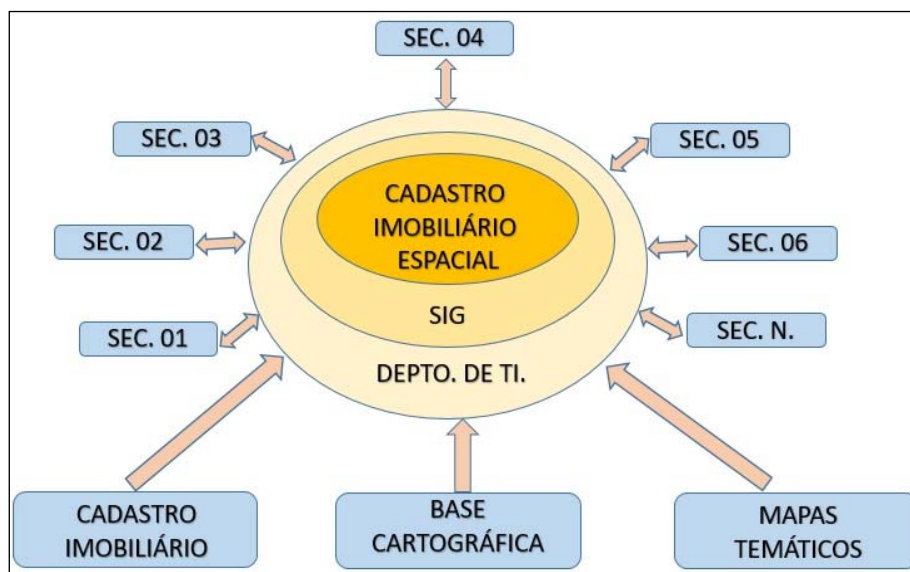


Figura 20.28. Esquema hipotético de um sistema de informações geográficas integrando as informações espaciais entre as secretarias da PMCG.

O SIG, também chamado de GIS (*Geographic Information System*), é um conjunto de soluções composto por:

- Softwares apropriados;
- Hardwares;
- Dados espaciais;
- Equipe de técnicos capacitada.

Todos os itens que compõem o SIG têm o mesmo peso na importância para a eficiência do sistema. A supressão ou má qualidade de um dos quatro itens pode comprometer os resultados, desperdiçando um trabalho árduo. Vale a pena lembrar que muitas vezes o termo SIG é utilizado para designar o *software* utilizado para geoprocessamento.

Em se tratando de geoprocessamento, existem *softwares* licenciados (pagos), gratuitos e livres. Não se deve confundir *software* livre com *software* gratuito, como o próprio nome já diz, *software* gratuito é aquele que pode ser baixado sem obrigatoriedade de pagamento por licença pela internet, mas não é possível ter acesso ao seu código fonte. É interessante ter ciência que quantos menos gastar em licenças de *softwares*, maior será o valor gasto em capacitação de técnicos para operá-los

Por analogia, o *software* livre é aquele no qual o usuário tem acesso ao código fonte. Existem vários níveis de acesso ao código fonte dos *softwares*, segundo a *Free Software Foundation* (FSF, 2020), um *software* é considerado livre quando atende aos quatro tipos de liberdade, sendo eles:

- A liberdade para executar o programa, para qualquer propósito (liberdade nº 0);
- A liberdade de estudar como o programa funciona, e adaptá-lo para as suas necessidades (liberdade nº 1). Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade;
- A liberdade de redistribuir cópias de modo que você possa ajudar ao seu próximo (liberdade nº 2);
- A liberdade de aperfeiçoar o programa, e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie (liberdade nº 3). Acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade.

A qualidade das informações do banco de dados SIG é de suma importância, deve-se levar em conta que, por mais perfeito que seja o sistema, se for alimentado com informações ultrapassadas ou falsas, fornecerá resultados ultrapassados ou falsos. O cuidado ao montar um banco de dados SIG é essencial, deve-se ter uma padronização de linguagem e de termos, o desencontro de informações entre tabelas diferentes vai gerar inconsistência.

Para gerenciar as informações de um banco de dados SIG, é necessário o uso de um *software* SGBD (sistema de gerenciamento de banco de dados). O valor das licenças, no caso dos *softwares* pagos, será de acordo com a capacidade do processamento do servidor e não pelo número de usuários (licença *for server*). É imprescindível antes de adquirir um SGBD verificar se ele é compatível com os outros *softwares* existentes utilizados no SIG.

É interessante estar informado que nem sempre um determinado *software* poderá atender todas as necessidades, pois existem *softwares* específicos para as mais variadas funções. Geralmente é usual comprar “pacotes” de tecnologia com *softwares* com finalidades diferentes. No caso de comprar *softwares* de funções diferentes e de fabricantes diferentes deve-se ficar atento se existe compatibilidade entre eles, isto é, se eles apresentam condições de trabalhar com extensões de arquivos em comum.

Para utilizarmos um SIG que atenda as necessidades do usuário é necessário saber “para que” o usuário precisa deste *software*, pois existem *softwares* SIG para:

- Vetorialização;

- Tratamento de imagens;
- Modelagem digital;
- Gerenciamento de banco de dados;
- Desenvolvimento de aplicativos;
- Publicações de informações geográficas na *internet*.

Os *softwares* para edição de vetores são sem dúvida nenhuma os *softwares* mais essenciais para a cartografia digital, com estes *softwares* é possível abrir, editar, imprimir e alterar arquivos vetoriais, criando mapas temáticos. É possível também abrir arquivos *raster* (imagens georreferenciadas), mas nem sempre é possível fazer a edição e o tratamento de imagens, salvo nos casos que o *software* esteja preparado para editar tanto a parte vetorial como a parte *raster*.

Em um *software* SIG para edição vetorial deve-se observar a disponibilidade de ferramentas de edições vetoriais. Deve possuir, no mínimo, capacidade de realizar:

- Locação de pontos;
- Edição de retas, polígonos, polilinhas, hachuras;
- *Buffering*;
- Sobreposição de *layers* (camadas), incluindo imagem de fundo;
- Edição e exportação de arquivo no formato *.shp* (*shapefile*); e
- Vinculação a um banco de dados SIG.

Quanto mais variado o número de recursos para vetorização, mais interessante. Deve-se também estar atento à facilidade de uso dos recursos destes *softwares*, uma vez que quanto mais complexa seja a sua utilização, mais demorada e cansativa será a vetorização de um mapa.

Recomenda-se ficar atento também ao número de extensões de arquivos vetoriais com o qual o *software* trabalha, quanto mais variado for o número de extensões, menos problemas o usuário encontrará pela frente. Deve ter no mínimo as extensões de arquivos vetoriais mais usuais, como SHP (*shapefile*), TAB (*Mapinfo table*), DWG (*Drawing*) *.dxf* (*AutoDesk Drawing Interchange format*), DGN (*design format*), CAD (*computer aided design*).

O formato *shapefile* vem sendo cada vez mais universalizado, de modo que é comum muitos órgãos públicos exigirem que os arquivos vetoriais georreferenciados sejam no formato *.SHP*.

No caso dos *softwares* SIG para tratamento e edição de imagem, diz respeito a produtos já direcionados a usuários de nível técnico um pouco mais elevado. Estes *softwares* possibilitam uma gama de informações muito útil para os gestores urbanos municipais. Levando-se em conta a redução dos custos cada vez maior das imagens de satélites de alta resolução espacial, essas ferramentas se tornam indispensáveis para o planejamento urbano e atualização cadastral.

Um bom *software* para tratamento de imagens aliado a uma boa base cartográfica pode reduzir muito o custo das imagens de satélites, desde que se tenha equipe de técnicos capacitada para operá-lo. Pode-se também fazer análises nas imagens que venham fornecer informações importantes. Com uma imagem atualizada da área é possível confrontar as construções constantes no cadastro imobiliário, agilizando e otimizando os custos e o tempo das equipes de fiscalização em campo.

Nem sempre um único *software* para tratamento de imagem pode ter todas as funções mais usuais para a função, em alguns casos se torna necessário adquirir mais de um *software* diferente ou então algoritmos que venham complementar o *software* existente. Em se tratando de área urbana, as funções mais usuais para tratamento de imagens de área urbana, são:

- Trabalhar com imagens de 11 *bits* de resolução radiométrica. Como o uso urbano exige imagens de alta resolução espacial, é interessante lembrar que estas imagens possuem resolução radiométrica de 11 bits;
- Separar as bandas espectrais no canal de cores;
- Filtragem;
- Realce radiométrico, espacial, espectral e de ruídos;
- Aceitar um número elevado de pontos para o georreferenciamento;
- Possibilitar a correção geométrica de uma imagem não georreferenciada com pontos pegos em uma imagem georreferenciada; e
- Classificação automática de imagens e classificação orientada a objeto.

Existem os casos de *softwares* que fazem tratamento de imagem e modelagem dos dados em ambiente SIG, quando não for o caso do *software* existente, é necessário adquirir um *software* para esta função. Um *software* SIG para modelagem em áreas urbanas, entre estas funções, deve possuir a capacidade de gerar o modelo digital de elevação (DEM – *digital elevation model*) do terreno.

Em algumas etapas da vetorização podem ser utilizados CADs, já que estes têm mais recursos para desenhos e no caso de áreas urbanas existem muitas feições retilíneas devido às suas origens artificiais. Tratado em algumas vezes como mapas geométricos, mas como explicado no capítulo SIG versus CAD, existem um conjunto de boas regras para a utilização destes *softwares* de desenho para o uso em geoprocessamento. Outra opção é utilizar *plugins* que instalem ferramentas CAD em um SIG, ou que faça o caminho contrário, dê propriedades de SIG a um CAD.

## 20.11. Referências

AEAAS. Associação de Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de Salto. **Normas e procedimentos de engenharia para cadastro urbano no Brasil**. Cartilha elaborada pelo Sistema CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia), CREA (Conselho Regional de Engenharia e agronomia) e MUTUA (Caixa de Assistência dos Profissionais dos Creas). 2019. Disponível em: [https://paranainterativo.pr.gov.br/gerenciadorConteudo/imagens/publicacoes/CARTILHA\\_CADASTRO\\_URBANO\\_NO\\_BRASIL.pdf](https://paranainterativo.pr.gov.br/gerenciadorConteudo/imagens/publicacoes/CARTILHA_CADASTRO_URBANO_NO_BRASIL.pdf). Acesso em: 30 jul. 2020.

BRASIL. Lei nº 6015, de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 30 dez. 1973.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 20 dez. 1979.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, 22 jul. 1984. Disponível em:



[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acesso em: 30 jul. 2020.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 out. 1988.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 11 jul. 2001.

BRASIL. Decreto nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, 7 jan. 2005. Disponível em: <http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96972/decreto-5334-05>. Acesso em: 30 jul. 2020.

FSF. Free Software Foundation. **O que é software livre? A definição de Software Livre**. 2020. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.pt-br.html#f1>. Acesso em: 30 jul. 2020.

GOOGLE EARTH. **Termos de Serviço adicionais do Google Maps/Google Earth**. 2014. Disponível em: <http://www.google.com/intl/pt-BR/earth/license.html>. Acesso em: 30 jul. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 30 jul. 2020.

PMCG. **Prefeitura Municipal de Campo Grande**. 2013. Disponível em: <http://www.pmcg.ms.gov.br/>. Acesso em: 30 jul. 2020.

PMCG. **Prefeitura Municipal de Campo Grande**. 2019. Disponível em: <http://www.pmcg.ms.gov.br/>. Acesso em: 30 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Topographic mapping**. U.S. Geological Survey Unnumbered Series, GIP, 2008. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/gip/topomapping/>. Acesso em: 30 jul. 2020.

## Ecologia da Paisagem Utilizando Geotecnologias

Roberto Macedo Gamarra<sup>1\*</sup>, Ana Paula Garcia Oliveira<sup>2</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Ecologia e Conservação pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>3</sup>Livre-docente pelo Instituto de Geociências da USP.

**\*Autor correspondente:**

Roberto Macedo Gamarra, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: roberto.gamarra@ufms.br

As geotecnologias representam um dos três campos que mais crescem no mundo, juntamente com a nanotecnologia e a biotecnologia. Existe uma demanda mundial por profissionais que integrem dados ambientais e imagens de satélite (GEWIN, 2004), demonstrando a importância da utilização desse tipo de ferramenta em análises ambientais. De acordo com Roughgarden et al. (1991) as geotecnologias fornecem a ecologia dados em larga escala e em escala sinóptica, ou seja, permitem uma visão de conjunto sobre a estrutura espacial da paisagem.

A ecologia da paisagem visa estudar a estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas concentrando-se em três características fundamentais da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986; TURNER, 1987):

- Estrutura (Forma) – as relações espaciais entre os distintos elementos presentes, mais especificamente, a distribuição de energia, matéria e espécies em relação às dimensões, formas, número, tipo e configuração dos elementos da paisagem;
- Função (Processo) – as interações entre os elementos espaciais, ou seja, o fluxo de energia, matéria e espécies entre os componentes da paisagem;
- Dinâmica (Mudança) – a alteração na estrutura e função do mosaico ecológico, ao longo do tempo.

A ecologia da paisagem traz um enfoque centrado nas relações horizontais entre as diferentes unidades da paisagem e considera o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, a interação e troca através da paisagem, a influência da heterogeneidade nos processos bióticos e abióticos e seu manejo (TURNER, 1987; METZGER, 2001). Segundo Forman e Godron (1986), a paisagem é resultante de processos geológicos/geomorfológicos e dos padrões de colonização dos organismos em diferentes escalas temporais, resultando em uma paisagem terrestre formada por diferentes tipos de relevo, vegetação e uso do solo que formam um agrupamento único de ecossistemas em interação. O padrão de manchas gerado por esses processos atuando em diferentes escalas temporais e espaciais representa a assinatura de uma paisagem (URBAN et al., 1987).

De acordo com Metzger (2001), a paisagem (Figura 21.1) é definida como um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação. No enfoque geográfico, o mosaico citado é fundamentalmente observado com olhar antropogênico e na abordagem ecológica com o olhar das espécies ou comunidades estudadas. É importante destacar que nesse conceito indicado de paisagem, o espaço estudado não é necessariamente uma extensa área geográfica nem mesmo um novo patamar hierárquico de estudo em ecologia acima de ecossistemas. A ecologia de paisagens revolucionou os estudos sobre fragmentação e

conservação da biodiversidade, associando conceitos geográficos e ecológicos, gerando estudos aplicados para solucionar problemas ambientais.



Figura 21.1. Paisagem do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari no Estado de Mato Grosso do Sul.

Dessa maneira, a ecologia da paisagem na atualidade é uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem, ela possibilita que a paisagem seja avaliada sob diversos pontos de vista, permitindo que seus processos ecológicos possam ser estudados em diferentes escalas temporais e espaciais (TURNER, 1987).

O mapeamento desses padrões pelo sensoriamento remoto e a análise de suas relações espaciais permite caracterizar diferentes paisagens e entender os processos de que resultam. Assim, o sensoriamento remoto deve estar presente em quaisquer projetos de controle da fragmentação ambiental e conservação da diversidade biológica e é uma das técnicas que mais vem sendo empregada em ecologia de paisagem em função de sua capacidade de coletar dados em diferentes escalas, épocas e amplitudes espectrais. Esses atributos fazem com que as imagens de sensores remotos sejam fundamentais nas diferentes aplicações da ecologia de paisagem como estudos da fragmentação (ACCACIO et al., 2005).

Assim, utilizar os conceitos da ecologia da paisagem em conjunto com as geotecnologias ajuda a entender a relevância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e o grande valor destas relações em termos de conservação biológica (METZGER, 2001).

Além disso, utilizar as ferramentas das geotecnologias além de economizar tempo e recursos, é a maneira correta de analisar a estrutura e a dinâmica da paisagem, pois estas ferramentas permitem caracterizar de forma precisa e acurada os distintos elementos da paisagem (matriz, fragmentos e corredores) e relacioná-los com parâmetros ecológicos.

Com imagens de sensoriamento remoto e programas SIG (Sistema de Informações Geográficas) é possível avaliar com exatidão o tamanho, a forma e o grau de isolamento de fragmentos de vegetação, o tipo de matriz circundante e o efeito de borda agindo sobre todos esses elementos.

Como a ecologia da paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, torna-se necessário quantificar com precisão os padrões espaciais. Uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas da paisagem”. Existem mais de uma centena de métricas, porém muitas delas medem a mesma coisa de forma diferente. Calcular as métricas é simples e muitas vezes automático (quando se usa um programa). Muito mais difícil é interpretar e analisar os resultados, em relação aos dados biológicos/ecológicos/ambientais coletados, ou seja, mais importante que o valor das métricas é a interpretação do seu significado biológico. O cálculo das métricas pode ser automático, mas o uso adequado, não (METZGER, 2006).



Uma maneira de se obter automaticamente o tamanho e o perímetro de fragmentos de vegetação é a classificação orientada a objetos de uma imagem de satélite e posterior processamento dos dados tanto na forma vetorial quanto *raster*. Essa classificação gera uma tabela de atributos com os valores de área e perímetro que após um simples processamento fornece o tamanho e o perímetro de cada mancha de vegetação (ou outro elemento da paisagem) (Figura 21.2). A partir desses dados é possível calcular métricas da paisagem que descrevem a forma dessas manchas. Assim, podemos relacionar essas informações com parâmetros ecológicos como perda de *habitat*, fragmentação, relação espécie-área, biogeografia de ilhas, efeito de borda, entre outros.

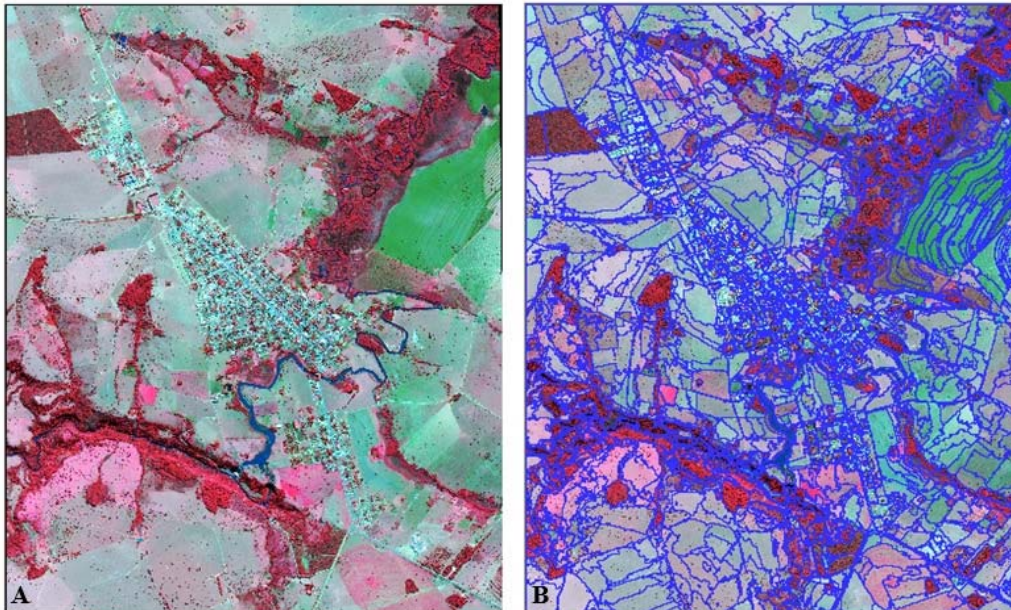


Figura 21.2. Etapas de uma classificação orientada a objetos. A: Imagem de satélite (SPACE IMAGING, 2003). B: Vetores gerados pela classificação orientada a objetos.

O tamanho e a forma dos fragmentos diferem do habitat original em dois pontos principais: os fragmentos apresentam uma alta relação borda/área e o centro de cada fragmento é próximo a uma borda (CERQUEIRA et al., 2005). O efeito de borda, ou seja, mudanças no microclima, na estrutura e nos processos dinâmicos da vegetação decorrentes da fragmentação, podem tornar o meio inóspito para diversas espécies de organismos (LAURANCE et al., 1998; TABARELLI et al., 1998). Ao mesmo tempo em que podem favorecer o estabelecimento de espécies características de áreas abertas, capazes de competir com as espécies nativas e alterar as características naturais do ambiente (SCARIOT et al., 2005).

O tamanho de um fragmento de habitat pode não conseguir abrigar o tamanho mínimo de populações de determinadas espécies e também de espécies raras. A forma de um fragmento de habitat é a relação entre o perímetro e a área desse fragmento, quanto maior a proporção de borda de um fragmento, menor será a área central, que é a área efetivamente preservada e a mais similar à vegetação original da região. Fragmentos de habitats mais próximos ao formato circular têm a razão borda-área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas, consequentemente, mais protegido dos fatores externos (SCARIOT et al., 2005).

O produto de uma classificação orientada a objetos pode ser um mapa de cobertura / uso e ocupação do solo que mostra a distribuição espacial e caracteriza os diferentes elementos da paisagem, inclusive a natureza da matriz. É possível diferenciar as fitofisionomias nativas e com controle de campo definir o uso e ocupação da paisagem como um todo, caracterizar as manchas de vegetação arbustiva e arbórea que, no caso do Cerrado, podemos considerar os

fragmentos e corredores, e no caso da matriz definir se está sendo usada como pastagens, agricultura ou outro uso antrópico.

A distribuição espacial dos fragmentos, ou seja, os tipos de elementos da paisagem que os separam ou conectam determinam o grau de isolamento das populações nos fragmentos. Quanto mais próximos entre si estiverem os fragmentos, maior a probabilidade de que ocorram movimentos entre os mesmos. Por exemplo, o fluxo de propágulos e de pólen é crucial para que populações de plantas e animais nos fragmentos menores possam se manter, ou mesmo se restabelecer (SCARIOT et al., 2005).

Matrizes compostas por grandes extensões de pastagens ou monoculturas de grãos são intransponíveis para diversas espécies de animais da floresta (BIERREGAARD et al., 1992). Um grupo de fragmentos de diversos tamanhos conectados por elementos da matriz, como matas ripárias, reflorestamentos com espécies nativas e sistemas agroflorestais que permitam a passagem de espécies, pode funcionar na prática como um grande fragmento, permitindo o fluxo biológico e promovendo a manutenção de grande parte da biota (SCARIOT et al., 2005).

Uma das alternativas para conservação desses fragmentos são os corredores de biodiversidade, que podem ajudar a conservar as comunidades que se encontram isoladas nos fragmentos, promovendo o fluxo de indivíduos, favorecendo sua variabilidade genética, tanto da fauna como da flora. Como estes corredores são geralmente extensas áreas geográficas localizadas em um espaço grande de fragmentos florestais, o uso de geotecnologias para auxiliar na delimitação e identificação dos melhores locais para estabelecê-los é fundamental e proporciona resultado satisfatório, pois permite uma análise integrada da paisagem, para o estabelecimento de corredores, interligando o maior número possível de fragmentos e ambientes (OLIVEIRA et al., 2015).

Existem alguns *softwares* específicos para análise da paisagem e outros que apresentam em seus pacotes adicionais (complementos) algoritmos para o estudo de paisagens, relacionando conceitos bióticos e abióticos com processos naturais e antrópicos a fim de entender esses processos ecológicos. Entre eles o *Fragstats* (MCGARIGAL e MARKS, 1995), o *plugin* GeoDMA para o TerraView (INPE, 2010), o *plugin* chamado LecoS para o QGIS (JUNG, 2012) e o *plugin Patch Analyst* do ArcGIS (REMPEL et al., 2012). Mapeamentos da paisagem com cartas de cobertura de solo e identificação das áreas de preservação permanente, associados à declividade e hidrografia, são critérios estabelecidos em alguns SIGs para desenvolver soluções ambientais, como a dos corredores de biodiversidade (MARTINS et al., 1998).

Outro produto mundialmente utilizado na análise da paisagem são os índices de vegetação, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) o mais conhecido. Estes índices espectrais indicam a quantidade de fitomassa de diferentes manchas de vegetação, conseqüentemente indicam quantidade de matéria, energia e espécies presentes nessas manchas, sendo possível avaliar variações de riqueza e abundância.

Os valores médios do NDVI podem ser considerados uma medida indireta da complexidade do habitat ou paisagem, pois indicam a complexidade estrutural (vertical) e quantidade de fitomassa do habitat e o desvio padrão dos valores do NDVI pode ser considerado uma medida indireta da heterogeneidade do habitat/paisagem, pois indicam a variação/dispersão da complexidade vertical e da fitomassa do ambiente no plano horizontal (CORRÊA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; GAMARRA et al., 2016a; TAKATORI et al., 2017; SHIROMA et al., 2020). Admite-se que a riqueza de espécies da floresta aumenta com a complexidade da estrutura vertical, visto que mais nichos estarão disponíveis (LANG e BLASCHKE, 2009).

Além de relacionar esses parâmetros ecológicos com a riqueza de uma comunidade e/ou abundância de alguma espécie, também é possível avaliar o comportamento da paisagem ao longo do tempo, ou seja, avaliar a dinâmica da paisagem e suas implicações para a diversidade biológica.



Uma ferramenta importante para avaliar a dinâmica da paisagem é através da análise multitemporal. Existem disponíveis gratuitamente imagens de satélite desde a década de 1980, além de cartas topográficas produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Divisão de Serviço Geográfico do Exército (DSG), geradas a partir de fotografias aéreas da década de 1960, permitindo comparações da paisagem nos últimos 50 anos (GAMARRA et al., 2016b). Todas essas informações podem ser utilizadas na avaliação da dinâmica da paisagem, relacionando essas mudanças a parâmetros ecológicos como perda de habitat, fragmentação, relação espécie-área, biogeografia de ilhas, efeito de borda, entre outros conceitos da ecologia da paisagem e biologia da conservação.

## 21.1 Referências

- ACCACIO, G. M.; BRANT, A.; BRITTEZ, R. M.; CERQUEIRA, R.; ESPINDOLA, E. L. G.; GODOY, F.; LANDAU, E. C.; LOPES, A. T. L.; MIKICH, S. B.; OLIFIERS, N.; PIMENTA, B. V. S.; ROCHA, O.; SILVANO, D. L.; SMITH, W. S.; VENTORIN, L. B. Ferramentas Biológicas para Avaliação e Monitoramento de Habitats Naturais Fragmentados. *In*: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. de. (org). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. 2. ed. Brasília: MMA/SBF, 2005, p. 367-389.
- BIERREGAARD, R. O. Jr.; LOVEJOY, T. E.; KAPOS, V.; SANTOS, A. S.; HUTCHINGS, R. W. The biological dynamics of tropical rainforest fragments: a prospective comparison of fragments and continuous forest. **BioScience**, v. 42, n. 11, p. 859-866, 1992.
- CERQUEIRA, R.; BRANT, A.; NASCIMENTO, M. T.; PARDINI, R. Fragmentação: Alguns conceitos. *In*: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. de. (org). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. 2. ed. Brasília: MMA/SBF, 2005, p. 23-40.
- CORRÊA, C. C.; PIMENTA, M.; DUTRA, S. L.; MARCO JÚNIOR, P. Utilização do NDVI na avaliação da resposta de besouros herbívoros à complexidade e heterogeneidade ambiental em diferentes escalas no Bioma cerrado. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011. p. 3103-3110.
- FORMAN, R. T.; GODRON, M. Landscape Ecology. New York: John Willey, 1986. 619 p.
- GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 307-332, 2016a
- GAMARRA, R. M.; FERREIRA, T. S.; ROCHE, K. F.; MATOS FILHO, H. J. S.; CATALANI, T. G. T.; PAGOTTO, T. C. S.; PARANHOS FILHO, A. C. Analysis of Land Cover Changes of a Cerrado (Tropical Savanna) Area in the Centre-West of Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 39, n. 1, p. 76-90, 2016b.
- GEWIN, V. Mapping opportunities. **Nature**, v. 427, n. 6972, p. 376-377, 2004.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraView**. Versão 4.1.0. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/terraview](http://www.dpi.inpe.br/terraview). Acesso em: 20 jul. 2020.
- JUNG, M. **LecoS - A QGIS plugin to conduct landscape ecology statistics**. 2012. Disponível em <http://plugins.qgis.org/plugins/LecoS/>. Acesso em: 28 jul. 2020.

- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.
- LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; RANKIN-DE-MERONA, J. M.; LAURANCE, S. G. Rain Forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. **Ecology**, n. 79, v. 6, p. 2032-2040, 1998.
- MARTINS, A. K. E.; SARTORI NETO, A; MENEZES, I.C.; BRITES, R.S.; SOARES, V.P. Metodologia para Indicação de Corredores Ecológicos por Meio de um Sistema de Informação Geográfica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos, SP. **Anais [...]**. Santos: INPE, 1998. p. 611-620.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. General Technical Report. PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1-2, p. 1-9, 2001.
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. *In*: CULLEN Jr., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PÁDUA, C. (org.). **Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. 2. ed. Curitiba: Editora da UFPR, 2006. p. 423-453.
- OLIVEIRA, E. F.; SILVA, E. A.; FERNANDES, C. E.; PARANHOS FILHO, A.C.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, A. A.; BRAZIL, R.P.; OLIVEIRA, A.G. Biotic factors and occurrence of *Lutzomyia longipalpis* in endemic area of visceral leishmaniasis, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 107, n. 3, p. 396-401, 2012.
- OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, A. A.; MELOTTO, A. M. Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. *Revista Árvore*, n. 39, v. 4, p. 595-602, 2015.
- REMPEL, R. S.; KAUKINEN, D.; CARR, A. P. **Patch Analyst and Patch Grid**. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario. 2012.
- ROUGHGARDEN, J.; RUNNING, S. W.; MATSON, P. A. What does Remote Sensing do for Ecology?. **Ecology**, v. 72, n. 6, p. 1918-1922, 1991.
- SCARIOT, A.; FREITAS, S. R.; NETO, E. M.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA, L. C.; SANAIOTTI, T.; SEVILHA, A. C.; VILLELA, D. M. Vegetação e Flora. *In*: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. de. (org). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. 2. ed. Brasília: MMA/SBF, 2005, p. 103-123.
- SHIROMA, G. M.; GAMARRA, R. M.; GUIRRA, A. P. M.; MOTTA, J. S.; FIGUEIREDO, H. R.; ENCINA, C. C. C.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, n. 1, p. 18-32, 2020.
- SPACE IMAGING. **Imagem IKONOS II**. Canais 1, 2, 3, 4 e pan. CD-ROM. 2003.
- TABARELLI, M.; BAIDER, C.; MANTOVANI, W. Efeitos da fragmentação na floresta atlântica da bacia de São Paulo. **Hoehnea**, v. 25, n. 2, p. 169-186, 1998.
- TAKATORI, M. M. O; GAMARRA, R. M.; FAGGIONI, G. F.; DALMAS, F. B.; PARANHOS FILHO, A. C. P. Uso de geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem na região do Nabileque. **Revista Geociências-UNG-Ser**, v. 16, n. 1, p. 87-101. 2017.
- TURNER, M.G. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. **Landscape Ecology**, n. 1, v. 1, p. 27-39, 1987.
- URBAN, D. L.; O' NEILL, R. V.; SHUGART, J. R. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists to understand spatial patterns. **BioScience**, v. 37, n. 2, p. 119-127, 1987.

# Atuação do Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul na Fiscalização do Desmatamento com Aplicação de Geotecnologias: o programa DNA ambiental

Ariadne Barbosa Gonçalves<sup>1\*</sup>, Luciano Furtado Loubet<sup>2</sup>, Jaíza Santos Motta<sup>3</sup>, Wedney Rodolpho de Oliveira<sup>4</sup>, Alexandra Penedo de Pinho<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutora em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco, <sup>2</sup>Mestre em Direito Ambiental e da Sustentabilidade pela Universidade de Alicante – Espanha, <sup>3</sup>Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>4</sup>Doutorando em Biotecnologia pela Universidade Católica Dom Bosco, <sup>5</sup>Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.

**\*Autor correspondente:**

Ariadne Barbosa Gonçalves, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.  
E-mail: [ariadne.gon@gmail.com](mailto:ariadne.gon@gmail.com)

“Nós todos somos passageiros de uma diminuta nave espacial, o Planeta Terra” (CLINEBELL, 2007), em uma infinidade de *habitats*, compartilhando do mesmo ar, água e nutrientes. Em ciclos fechados que se ecoam como as sucessões cíclicas de Milankovitch (BERGER, 1992) que se repetem e pouco se modificaram desde a origem do sistema solar o qual o Planeta Terra é apenas mais uma partícula no cosmos.

No entanto, a Terra possui a singularidade de estar no local exato do espaço que propiciou a existência de todas as espécies de vida. Por uma sorte do acaso a Terra se encontra à distância apropriada do Sol, o que mantém as cadeias alimentares eficientes em seus níveis tróficos e subsistem os sistemas orgânicos com sua irradiação. Ao mesmo tempo, temos outros planetas consanguíneos que protegem a Terra de perigos escusos que navegam pelo espaço, não tão vazio, e que, eventualmente, já atingiram nosso planeta causando extinções em massa em tempos remotos.

Nas palavras proferidas pelo astrofísico inglês John Gribbin (2011), em sua obra *Alone in the Universe: Why Our Planet is Unique*, que é praticamente certo que apenas o Planeta Terra tenha passado pelas evoluções necessárias para apresentar a consistência de uma civilização organizada e inteligente. Compartilhando de um fado biológico de micro-organismo, fauna e flora que somente é conhecida no Planeta Terra. As áreas verdes ao redor do globo propiciam o equilíbrio de proteção do solo, preservação de recursos hídricos, além de fornecerem abrigo, sombra e alimento para inúmeras espécies.

As florestas mantêm a maioria da diversidade terrestre da Terra e proporcionam habitats para 80% das espécies de anfíbios, 75% das espécies de aves e 68% das espécies de mamíferos (VIÉ et al., 2009). No Brasil, por exemplo, Barros et al. (2019) verificaram que as árvores isoladas servem de *stepping stones* (trampolins e poleiros) para aves nectíferas dentro

de áreas exploradas com agropecuária. Em ambientes altamente fragmentados, tais *stepping stones* podem favorecer a regeneração florestal.

Ao mesmo tempo, possuidores deste incalculável privilégio, matematicamente impossível de corroborar, que não se repete, pelo menos até agora, em nenhum outro planeta conhecido, os seres humanos são, lamentavelmente, os próprios destruidores das proficuidades que lhes são oferecidas.

Urge então desta falta de apatia, derivada da ação humana, a degradação do solo, a conspurcação das águas e dos oceanos, além da destruição vegetal. A ganância humana acerca dos espaços biológicos, onde espécies inteiras são danificadas ou mesmo extintas, resultam em um amargo futuro às gerações vindouras, sopesando mesmo conhecido, das limitações tróficas que a Terra demanda e de sua capacidade de regeneração limitada ao curso de vida humana.

O Brasil, geográfica e privilegiadamente posicionado, com amplos recursos naturais possui um farto arcabouço jurídico na tentativa de mitigar o dano ambiental proporcionado pela interação humana. O legislador da Constituição Federal de 1988, já atento a prioridade de proteção do cenário da biodiversidade contida no território brasileiro, substancia-se contundentemente ao afirmar no artigo 225 da Carta Magna que (BRASIL, 1988):

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Falta ao ser humano a sensibilidade de suscitar ao dito do legislador e cultivar na prática o ditame jurídico na aparente dualidade entre preservação ambiental e desenvolvimento social, principalmente no que tange a vegetação, uma vez que ambos são siameses, não podendo abstrair-se proteção ambiental do progresso da sociedade. Posto que, para se desenvolver a sociedade necessita do meio ambiente para crescer, onde as vegetações e florestas desempenham importante papel em regular os microclimas e ecossistemas locais.

## 22.1. Perda de Vegetação Nativa no Brasil e Suas Consequências

As áreas de florestas não estão distribuídas homoganeamente no planeta, mais da metade (54%) estão localizadas em apenas cinco países: Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América e China, onde o Brasil detém a segunda maior proporção 12% (Figura 22.1).

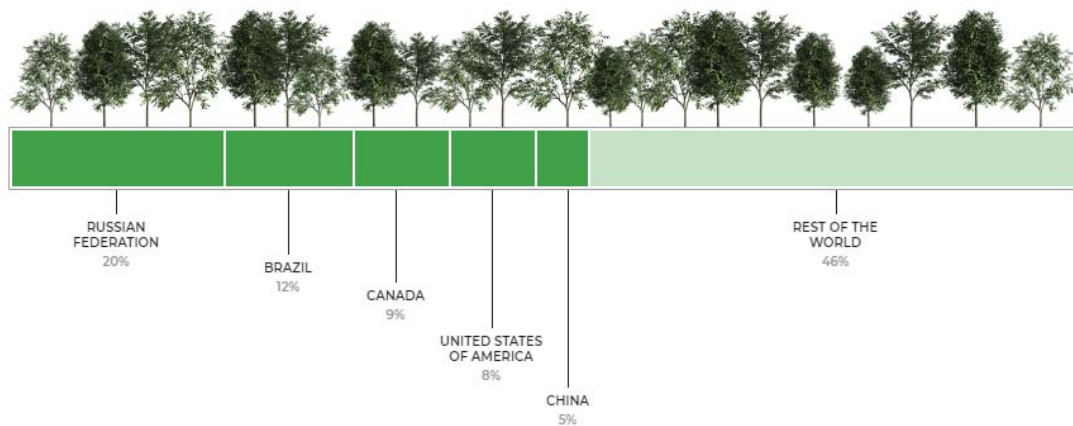


Figura 22.1. Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América e China (FAO, 2020).

Assim, outro quesito importante a se observar é que a diversidade de vegetação nativa também não é semelhante em todos os países. No hemisfério Norte, a biodiversidade é bastante baixa, enquanto que o Brasil é o país com a maior quantidade de espécies arbóreas do planeta (FAO e UNEP, 2020). Ou seja, o Brasil é um país com uma das maiores áreas florestais e biodiversidade do mundo, com mais de 9.000 espécies de árvores nativas (BEECH et al., 2017).

O desmatamento é um tema relevante e pertinente em todo o mundo, uma vez que as florestas são as maiores responsáveis pelo sequestro de carbono global. No entanto, a quantidade total de área florestal no planeta reduziu em 3%, de 4128 milhões de hectares por ano (Mha) em 1990 para 3999 Mha em 2015. De 2010 a 2015, a área de florestas tropicais reduziu a uma taxa de 5.5 Mha por ano (KEENAN et al., 2015). No período entre 2010 e 2020, a América do Sul apresentou uma perda relativa de florestas de 2,6 milhões de hectare por ano (FAO, 2020).

Segundo Beech et al. (2017), as áreas florestais se expandiram na Europa, América do Norte, Caribe e no Leste e Centro Oeste Asiático, enquanto que foi reduzida na América Central, América do Sul e as regiões Sul e Sudeste da Ásia e na África entre 2010 e 2015. Neste mesmo período, a taxa de perda de área florestal na América do Sul foi maior no Brasil 984 mil hectares por ano.

As principais causas do desmatamento em florestas primárias estão contextualizadas regionalmente, mas inclui, principalmente, extração industrial de madeira de forma insustentável, expansão agrícola, queimadas, que estão frequentemente associadas ao preparo do solo (POTAPOV et al., 2017).

Os desmatamentos ou supressões vegetais de espécies nativas já lançaram seus tentáculos da destruição em praticamente todos os rincões do país, paisagens antes intocadas hoje são desertos estéreis, quiçá pouco produtivos, ou muitas vezes exasperadamente alterados. Nestes casos, apenas a aplicação da fria lei não mitigaria o dano ambiental já causado. Faz-se necessária a reparação do dano na tentativa de retornar ao *status quo*, ou pelo menos, retornar aquele ambiente o mais próximo de sua condição primordial.

As florestas de Cerrado no Brasil têm sido rapidamente afetadas, principalmente devido a alterações na dinâmica de uso do solo, como o caso da expansão pecuária e agrícola, basicamente, para o cultivo de soja, milho, cana-de-açúcar e algodão. Apesar destas florestas



serem muito importantes para a biodiversidade, somente poucos fragmentos de maiores dimensões e com distribuição contínua, permanecem preservados (FAO e UNEP, 2020).

Uma vez fragmentada, o processo de reverter uma floresta à sua condição original, especialmente em termos de perda de biodiversidade, é muito difícil e de alto custo. No cerrado o custo médio de restauração é de 25 mil reais por hectare (BENINI, 2017). Na restauração é necessário muito esforço (tempo, mão de obra e custo) para reconectar fragmentos florestais, como corredores ecológicos, zonas de amortecimento e *stepping stones*.

## 22.2. Dano Ambiental

O conceito de dano ambiental é trazido por José Rubens Morato Leite, em seu livro *Dano Ambiental: do Individual ao Coletivo Extrapatrimonial* (2003):

“Da análise da lei brasileira, pode-se concluir que o dano ambiental deve ser compreendido como toda lesão intolerável causada por qualquer ação humana (culposa ou não) ao meio ambiente, diretamente, como macrobem de interesse da coletividade, em uma concepção totalizante, e indiretamente, a terceiros, tendo em vista interesses próprios e individualizáveis e que refletem no macrobem” (LEITE, 2003, p. 104).

O direito ambiental convive com sua própria dualidade. De um lado o dano ambiental causado pelo desenvolvimento social, do outro modo frágil, a preservação e a conservação.

No Brasil, apesar de ser detentor de um arcabouço jurídico extenso, muitas vezes, a doutrina e a jurisprudência majoritariamente divergem seus entendimentos, propiciando uma fresta para interpretações dúbias que resultam na causa de danos ambientais.

Neste prisma, existem inúmeras tratativas da aplicação da reparação do dano ambiental, consistindo esta reparação em todas as modalidades judiciais, permeando entre a reparação civil, administrativa e criminal (Figura 22.2), independente se há culpa e obrigação da reparação do dano, artigo 225, § 3º da Carta Magna.

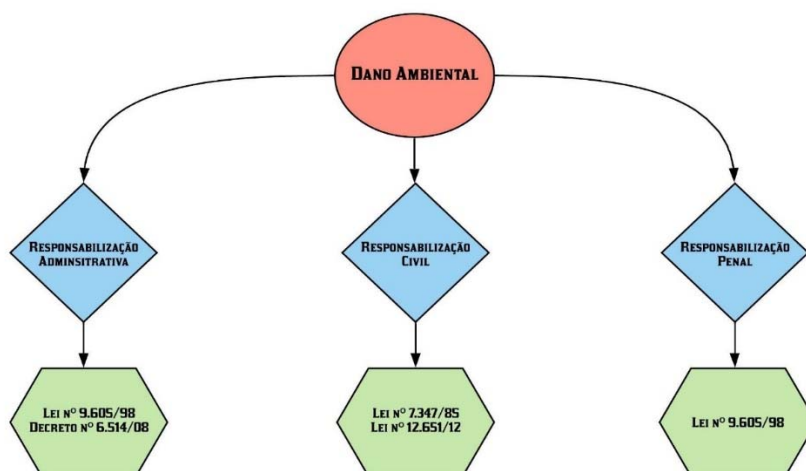


Figura 22.2. Ilustração das responsabilizações legais aplicadas aos infratores do dano ambiental no ordenamento jurídico brasileiro.

Conceituado o dano ambiental, não é de fácil monta determinar sua reparação. As peculiaridades de cada dano devem ser observadas e analisadas minuciosamente, com o fulcro de melhor retornar *status quo* aquela região, ou na tentativa de mitigar o dano já causado.

Para tanto, o arcabouço jurídico brasileiro, através da atuação do Ministério Público, esquadrinha com seu olhar holístico as melhores soluções para estas demandas, na tentativa de aperfeiçoar o crescimento social sustentável, na aplicação exata da Carta Magna, objetivando a melhor preservação ambiental.

### 22.3. Atuação do Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul Frente à Supressão de Vegetação Nativa

A Constituição Federal estabelece proteção ao meio ambiente e determina ser essencial à sadia qualidade de vida, atribuindo ao Ministério Público funções de atuação em sua preservação, competindo ao órgão atuar por meio de ações penais e civis, inquéritos civis, programas, dentre outros (BRASIL, 1988).

O Estado de Mato Grosso do Sul não escapa aos problemas relacionados a temática ambiental, em especial a questão dos desmatamentos ilegais, razão pela qual o Ministério Público do Estado do Mato Grosso do Sul criou o Programa DNA Ambiental (Programa de Detecção de Desmatamento Ilegal de Vegetação Nativa), que através do Núcleo de Geotecnologias - NUGEO, ligada ao Centro de Apoio Operacional das Promotorias de Justiça de Meio Ambiente, da Habitação e Urbanismo e do Patrimônio Histórico e Cultura – CAOMA, em parceria com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) e Polícia Militar Ambiental do Estado do Mato Grosso do Sul, detecta pontos de supressão vegetal sem a devida licença e adota as providências para a punição e reparação destes danos.

#### 22.3.1. Supressão Vegetal – Balizas Legais

A supressão de vegetação é regulada de forma ampla e seus requisitos dependerão do caso concreto ao qual a pessoa física ou jurídica e a atividade que pretende desempenhar se enquadram. Nessa ótica, o Código Florestal (BRASIL, 2012a) complementa o interesse público o que exige a necessidade de autorização, que pode variar conforme o caso concreto, dependendo de se tratar de área urbana ou rural, área pública ou privada, bem como do tipo de vegetação e qual sua proteção legal (APP, Reserva Legal, Unidade de Conservação, etc.).

O artigo 4º do Novo Código Florestal traz as áreas de preservação permanentes que devem ser preservadas, dentre elas as faixas marginais aos cursos d'água (I); do entorno de lagos e lagoas (II); reservatórios artificiais (III); entorno de nascentes e olhos d'água (IV); encostas (V); restingas (VI); manguezais (VII); bordas dos tabuleiros ou chapadas (VIII); topo de morros, montes, montanhas e serras (IX) e áreas com altitude superior a 1.800 metros (X) (BRASIL, 2012a).

Por outro lado, a reserva legal deve abranger, em regra, no estado de Mato Grosso do Sul, 20% do imóvel com proteção à vegetação nativa, conforme disposto no artigo 12 do Código

Florestal. Na jurisprudência, a aplicação destes dois institutos sempre foi reconhecida como a faceta prática do cumprimento da função social ou ambiental da propriedade rural, conforme acórdão paradigma do Superior Tribunal de Justiça, que decidiu que (BRASIL, 2007):

“Averbação da reserva legal, à margem da inscrição da matrícula da propriedade, é consequência imediata do preceito normativo e está colocada entre as medidas necessárias à proteção do meio ambiente, previstas tanto no Código Florestal como na Legislação extravagante.” (REsp 927979/MG, DJ 31.05.2007) (BRASIL, 2007).

Fica evidente, assim, que a existência de Reserva Legal e de Área de Preservação Permanente é condição *sine qua non* para atingir a finalidade prevista no artigo 5º, XXIII e 186, I e II da Constituição Federal (função social da propriedade), bem como do artigo 225 (proteção ao ambiente) (BRASIL, 1988).

Por outro lado, para supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo, tanto em domínio público, quanto em domínio privado, deverá haver prévia autorização do órgão ambiental estadual (art. 26 do Código Florestal).

Além disto, deverá o imóvel estar cadastrado no Cadastro Ambiental Rural, que é um registro público eletrônico, de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (art. 29 do Código Florestal).

É por meio deste cadastro que os Proprietários Rurais declaram as áreas produtivas e também as protegidas nos seus imóveis, especialmente as de Reserva Legal, Preservação Permanente e uso restrito, sendo sua prévia aprovação condição para a emissão da autorização do desmatamento, nos termos do artigo 12, § 3º, da Lei Federal n. 12.651/2012 (BRASIL, 2012a).

Esta aprovação prévia do Cadastro Ambiental Rural é consequência lógica, uma vez que a Reserva Legal do imóvel deverá ser aprovada pelo órgão ambiental utilizando-se os critérios do artigo 14, sendo impossível pensar-se em autorizar uma supressão de vegetação nativa sem que antes se saiba onde ficará a área a ser preservada.

Não bastasse isto, os processos de autorização de desmatamento ou supressão de vegetação nativa deverão, agora, também ser muito mais criterioso, o que significa dizer: não é direito subjetivo do proprietário do imóvel desmatar toda a área, excluídas as reservas legais e áreas de preservação permanente. Ao contrário, deverá ele cumprir uma série de requisitos para que haja esta autorização.

O primeiro deles – além da regularização da reserva legal – é demonstrar que na área não há espécies de flora ou fauna ameaçadas de extinção ou espécies migratórias, conforme artigo 27 da lei especial. Ocorrendo na área tais tipos de espécies, não poderá haver desmatamento ou supressão sem que haja demonstração de alternativa técnica e locacional. Além disto, deverá ser verificado, também, se no imóvel não há áreas abandonadas, conforme o artigo 28 da mesma Lei. É importante observar que o regulamento específico da emissão de autorização ambiental no Estado de Mato Grosso do Sul está previsto na Resolução Semade n. 09/2015 (MATO GROSSO DO SUL, 2015), onde estão especificados os estudos necessários, dependendo do tamanho da área.

Note-se que, em vários casos, o Ministério Público identificou que houve supressão de vegetação nativa, mas que os proprietários possuíam comunicado de corte isolado de árvore. Contudo, este instrumento só pode ser utilizado quando a área já tinha sido anteriormente convertida para uso alternativo e para casos de árvores isoladas ou pequenos fragmentos inferiores a 1 hectare (MATO GROSSO DO SUL, 2015). Não serve, portanto, para justificar desmatamentos que devem ser precedidos da autorização específica.

### **22.3.2. Programa DNA Ambiental: O MPMS no Combate ao Desmatamento Ilegal**

O Estado de Mato Grosso do Sul, o qual detém os biomas do Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, passou por uma rápida modificação ambiental, ocasionando a alteração de áreas de vegetação nativa devido a implantação de atividades agropecuárias, levando a processos de desmatamento em locais protegidos por lei e a diferentes graus de degradação ambiental, resultando em alteração na disponibilidade e qualidade da água e diminuindo a diversidade da fauna e da flora, por exemplo.

A fim de combater o desmatamento ilegal, o Ministério Público, por meio de seu Núcleo de Geotecnologias, passou a monitorar periodicamente as supressões vegetais, utilizando-se de imagens de satélite.

O Núcleo de Geotecnologias foi criado em 2008 quando se iniciou o monitoramento de desmatamentos ilegais. Contudo, até 2012 o trabalho era realizado levantando-se desmatamentos por município, sem metodologia específica. Somente no ano de 2016, com a criação do Programa DNA Ambiental, o trabalho passou a ter uma metodologia de periodicidade definida, iniciando-se com a entrega de desmatamentos ocorridos entre os anos de 2013 a 2015 (com 1.012 relatórios entregues em 2016 e 2017, somando-se 75.779 hectares de desmatamento possivelmente ilegal), posteriormente de 2016 a 2017 (com 625 relatórios entregues em 2019, somando-se 30.008 hectares de desmatamento possivelmente ilegal), sendo que no ano de 2019 já se conseguiu baixar a periodicidade para anual (com 120 relatórios entregues em 2020, somando-se 6.228 hectares de desmatamento possivelmente ilegal).

O ano de 2018 não foi fiscalizado ainda em razão de optar-se por buscar a constatação dos desmatamentos mais recentes. Contudo, tais desmatamentos ainda serão objeto de emissão de laudos, conforme a capacidade de trabalho do Núcleo de Geotecnologia (NUGEO). No ano de 2020, nos meses de janeiro e fevereiro, constataram-se 979 hectares de desmatamento possivelmente ilegal, gerando-se 41 pareceres técnicos.

Atualmente, o controle é feito de forma bimestral, o que se mostrou um grande avanço na atuação do Ministério Público e dos órgãos ambientais, uma vez que estão sendo fiscalizados os desmatamentos ocorridos em data mais recente, de forma a tornar-se mais efetiva a reparação e prevenção dos danos ambientais.

Portanto, em execução há quatro anos, detectaram-se 112.994,5 hectares de desmatamento possivelmente ilegal, em 64 municípios do Estado, formalizados em 1.798 pareceres técnicos entregues para fiscalização, gerando, até o momento, mais de cinquenta e dois milhões de reais em multas.

Constatado o desmatamento por satélite, inicia-se a averiguação sobre a legalidade ou não do mesmo, com base nas licenças ambientais emitidas pelo órgão ambiental.

Posteriormente, caso não haja licença ambiental, é elaborado um relatório que embasará a fiscalização em campo, seja pela Polícia Militar Ambiental (PMA), seja pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA).

Com o parecer técnico em mãos, a PMA e o IBAMA realizam a vistoria *in loco* nos imóveis rurais e nos casos de constatação de irregularidades, os proprietários são autuados e os autos de infração são remetidos ao Centro de Apoio Operacional do Meio Ambiente (CAOMA), que os encaminha à Promotoria de Justiça juntamente com o Parecer Técnico, para instauração de procedimento, em geral propondo-se a solução consensual pela via Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) e, quando necessário, ajuizamento de ação.

Quando confirmado o desmatamento ilegal, os infratores são responsabilizados ao pagamento de indenização por danos pretéritos, recuperação da área e pagamento de multa administrativa ao órgão ambiental, além de eventual responsabilização penal. Assim, o Programa DNA Ambiental busca inibir os desmatamentos ilegais, uma vez que, a partir do momento em que há uma fiscalização rápida e efetiva, a tendência é que novas ilegalidades deixem de ser cometidas.

Registre-se que, desde o ano de 2019, nos pareceres elaborados, também está sendo informado o volume estimado de emissões de carbono em decorrência do desmatamento ilegal (516.465,29 toneladas de carbono, o que se estima que seja equivalente a um total de 116.600 caminhões rodando 100 km/dia durante 1 ano), visando, com isto, uma atuação, também, no combate às causas das mudanças climáticas.

Para identificação de desmatamentos são utilizadas geotecnologias, visto que até o ano de 2015 as supressões vegetais foram identificadas por meio de análises multitemporais das imagens de satélite referentes à cobertura do Estado, confrontadas com uma compilação de dados adquiridos dos órgãos parceiros.

Nos anos de 2016 e 2017 foram realizadas análises por NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para a identificação dos alvos de desmatamento. Já para a detecção dos desmatamentos do ano de 2018 foram utilizadas as bases do DETER Cerrado, MAPBIOMAS e TerraBrasilis, posteriormente refinadas e validadas pelo NUGEO. Os desmatamentos do ano de 2019 foram detectados a partir das bases do DETER Cerrado, do MAPBIOMAS e de análise multitemporal.

A Etapa 1 do ano de 2020 foi exclusivamente realizada por análise multitemporal devido as plataformas não possuírem dados atualizados. A nova atuação do Ministério Público quanto à análise de desmatamento bimestral, encontra-se em processo de atualização de metodologia, porque cada operação tem suas particularidades e, com isso, a metodologia de identificação de áreas desmatadas vem sendo atualizada constantemente.

Com esta iniciativa, o Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul realiza o controle do desmatamento de forma sistemática e em todo o território do estado, articulando-se com os órgãos ambientais para uma efetiva fiscalização, punição e reparação dos danos ambientais.



## 22.4. Procedimentos para a Vistoria Ambiental Referente à Supressão Vegetal

Na identificação de áreas desmatadas são utilizados dados de sensoriamento remoto em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que é uma das maneiras mais eficientes empregadas pelos técnicos ambientais para diagnóstico de supressão de vegetação, uma vez que há dados multitemporais de sensoriamento remoto acessíveis e disponíveis gratuitamente pela *internet*, logo há economia de recursos financeiros com o deslocamento e análises *in loco* na tentativa de encontrar o local desmatado, quantificar sua expansão e determinar o lapso temporal em que ocorreu o desmatamento, dentre outras análises de cobertura de solo.

Em SIG, o procedimento de fiscalização de um desmatamento inicia-se com a coordenada da propriedade contidas no CAR (Cadastro Ambiental Rural) para a delimitar os limites vetoriais da propriedade no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR criado pelo Decreto nº 7.830/2012 (BRASIL, 2012b). Esse sistema eletrônico de âmbito nacional é destinado à integração e ao gerenciamento das informações ambientais e compõe base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico no combate ao desmatamento. O SICAR pode ser acessado através do *link* (<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>).

De posse do CAR, podem-se analisar as alterações de cobertura do solo pelo *software Google Earth* com intuito de delimitar o lapso temporal e a extensão do desmatamento em alta resolução. Outro meio, são os pareceres sobre o caso, quando houver.

Em seguida, pode-se identificar as áreas cadastradas no CAR em ambiente SIG, como o *software QGIS* (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020). Em SIG é possível identificar em quais classes da propriedade ocorreu o desmatamento, por exemplo se atingiu áreas protegidas por lei ou não. Além de haver a possibilidade de calcular a área suprimida e determinar o lapso temporal do dano ambiental. Esses itens são necessários em um relatório técnico pericial.

## 22.5. Estudo de Caso

Nessa seção, apresentaremos um estudo de caso adaptado para esse livro. A propriedade rural em estudo localiza-se no Município de Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, Brasil. A região é coberta pelo Bioma Cerrado e encontra-se em um topo de morro terraplanado para uso agropecuário, como pode ser visualizado na Figura 22.3 a seguir. Observa-se na figura erros grosseiros em seu CAR: 1) não há delimitação de reserva legal, somente remanescente de vegetação nativa (RVN) e área consolidada (AC); 2) RVN e AC, encontram-se sobrepostos e 3) há área sem classificação.

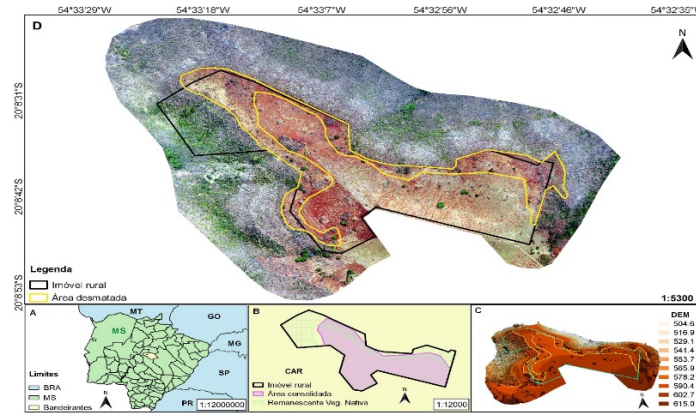


Figura 22.3. Localização da área de desmatamento ocorrido em Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, Brasil em **A**. Os limites do Cadastro Ambiental Rural foram adaptados para esse estudo de caso e observa-se em **B** a sobreposição de áreas cadastradas, além de áreas sem especificação de uso e não consta área destinada a reserva legal, somente remanescente de vegetação nativa e área consolidada. A região encontra-se em um topo de morro terraplanado com altitude variando entre 504,6 a 615 m, aproximadamente, conforme o modelo digital de elevação (DEM) em **C**. A situação em 2019 é demonstrada em **D** pela imagem capturada através de RPA (**A**), onde é possível observar o solo exposto na região demarcada em amarelo (IBGE, 2019).

Parte da vegetação nativa da propriedade foi suprimida durante o ano de 2014, como demonstrado pela sequência de imagens multitemporais na Figura 23.4. As imagens de A até E são do satélite Landsat 8, sensor OLI, resolução espacial de 30 metros, órbita/ponto 225/074 (USGS, 2014 a, b, c, 2015, 2016), em composição falsa-cor RGB 564, onde a densidade de vegetação aparece em tons de vermelho, solo latossolo exposto em azul e pastagens em tons esverdeado (Figura 22.4).

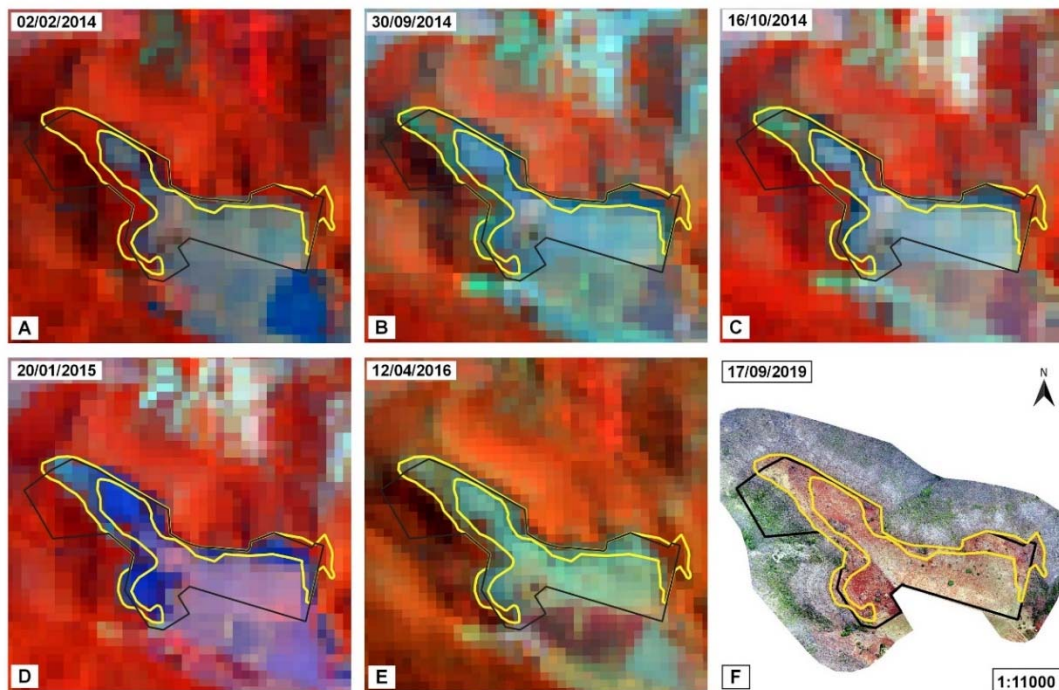


Figura 22.4. Imagens multitemporais do satélite Landsat 8, sensor OLI, órbita/ponto 225/074, obtida em **A**: 02/02/2014; **B**: 30/09/2014; **C**: 16/10/2014; **D**: 20/01/2015 e **E**: 12/04/2016 pelo *link* do USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (USGS, 2014 a, b, c, 2015, 2016) e **F** é uma ortofoto de RPA de 2019 da área em estudo. A fotointerpretação dessas imagens demonstra mudanças de cobertura do solo, onde

a vegetação densa em cor vermelha é substituída por cobertura de solo exposto (tons em azul) e pastagens (tons verde-claros) na área delimitada em amarelo. A imagem de RPA mostra em melhor resolução espacial a situação em 2019, confirmando o aumento de cobertura de solo exposto em detrimento da cobertura vegetal nativa.

No polígono delimitado em amarelo observa-se a mudança de cobertura do solo ao longo do tempo. Na Figura 22.4A, o polígono amarelo delimita uma região de vermelho intenso, que indica a presença de vegetação densa, porém nas cenas subsequentes (Figuras 22.4B a 22.4E) acontece a conversão da cobertura para solo exposto ou pastagem, fato que constata o desmatamento durante o ano de 2014 por imagens de satélite. A confirmação em alta resolução espacial (menor que 0,1 m) pode ser verificada através da imagem de RPA de 2019, onde observa-se em composição de cores reais (*true-color*) a ausência de vegetação na área demarcada pela linha amarela.

## 22.6. Conclusão

Uma vez ocorrido o desmatamento ilegal, configura-se um dano ambiental, razão pela qual se impõe a sua reparação. A Súmula nº 629 do Superior Tribunal de Justiça (STJ) (BRASIL, 2018) entende que a reparação do dano ambiental possibilita a cumulação da obrigação de fazer e indenizar. Ocorrido o dano ambiental impõe-se a busca pela sua reparação, buscando-se, sempre que possível, a reparação in natura do bem.

Na esfera cível a reparação do dano é pleiteada, geralmente, por meio da ação civil pública ou, quando pela via consensual, pelo Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), com base, em geral, no que foi apurado em um Inquérito Civil. Veja-se que a Lei da Ação Civil Pública (Lei Federal nº 7.347/85 – BRASIL, 1985) atribuiu legitimidade a várias entidades para buscar a reparação do dano (art. 5º), bem como, aos órgãos públicos a possibilidade da tomada do TAC (art. Art. 5º, § 3º), mas, por outro lado, somente ao Ministério Público deu atribuição para instauração dos Inquéritos Civis (art. 8º, § 1º).

Já na esfera penal, dependendo da hipótese, incidem os crimes previstos no artigo 38 da Lei de Crimes Ambientais, em caso de desmatamento de área de preservação permanente, 38-A, na hipótese de Mata Atlântica e artigo 50 em caso de floresta protegida por Reserva Legal. Veja-se que, na esfera penal, muito além da busca por punição do infrator, também deve ser buscada a reparação do dano, sendo está uma das características principais do Direito Penal Ambiental.

Inclusive, quando da aplicação dos instrumentos alternativos à prisão, deve-se buscar a reparação do dano, sendo está uma exigência para a aplicação destes institutos: o acordo de não-persecução penal (art. 28-A, I, do Código Penal), a transação (art. 27 da Lei de Crimes Ambientais), a suspensão do processo (art. 28) e a suspensão da pena (art. 16) (BRASIL, 1940; Brasil, 1998).

No que tange à esfera administrativa, as sanções aplicadas ao infrator estão disciplinadas no Decreto nº 6.514/08 (art. 3º) (BRASIL, 2008) e traz nove modalidades de penalidades que serão aplicadas a depender da monta do dano ambiental em cada caso.

Sopesa-se que o foco das legislações ambientais é a reparação do dano, mitigando suas qualidades deletérias, ensejando ainda a prevenção e conservação ambiental. Assim, a identificação de danos de desmatamento com uso de geotecnologias utilizadas pelo NUGEO se inicia a persecução criminal para a devida responsabilização do agente infrator.

## 22.7. Referências

- BARROS, F. M.; PERES, C. A.; PIZO, M. A.; RIBEIRO, M. C. Divergent flows of avian-mediated ecosystem services across forest-matrix interfaces in human-modified landscapes. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 4, p. 879-894, 2019.
- BEECH, E.; RIVERS, M.; OLDFIELD, S.; SMITH, P. GlobalTreeSearch: the first complete global database of tree species and country distributions. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 36, n. 5, p. 454-489, 2017.
- BENINI, R. M. (org). **Economia da restauração florestal = Forest restoration economy**. BENINI, Rubens de Miranda; ADEODATO, Sérgio. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. 136 p.
- BERGER, A. L. Astronomical theory of paleoclimates and the last glacial-interglacial cycle. **Quaternary Science Reviews**, v. 11, n. 5, p. 571-581, 1992.
- BRASIL. Decreto Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940. Código Penal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Rio de Janeiro, RJ, p. 23911, 31 dez. 1940.
- BRASIL. Lei Federal nº 7.347, de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (VETADO) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 10649, 25 jul. 1990. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7347orig.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7347orig.htm). Acesso em: 19 jun. 2020.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 out. 1988.
- BRASIL. Recurso Especial: REsp 927.979 - MG (2007/0037109-2). Superior Tribunal de Justiça. Relator: Ministro Francisco Falcão. 15 mai. 2007. JusBrasil, 2007. Disponível em: <<https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/18393/recurso-especial-resp-927979-mg-2007-0037109-2>>. Acesso em: 28 jul. 2020.
- BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 jul. 2008. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de



14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 mai. 2012a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 out. 2012b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BRASIL. **Súmula nº 629**. Superior Tribunal de Justiça. 12 dez. 2018. Disponível: <[https://ww2.stj.jus.br/docs\\_internet/revista/electronica/stj-revista-sumulas-2018\\_48\\_capSumulas629.pdf](https://ww2.stj.jus.br/docs_internet/revista/electronica/stj-revista-sumulas-2018_48_capSumulas629.pdf)>. Acesso online em 18 jun. 2020.

CLINEBELL, J. H. **Aconselhamento pastoral**. 4. ed. São Leopoldo: EST/Sinodal, 2007. 430 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings**. 2020. Rome. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca8753en>. Acesso em: 24 jul. 2020.

FAO and UNEP. **The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people**. Rome. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca8642en>. Acesso em: 24 jul. 2020.

GRIBBIN, J. **Alone in the Universe**. 1. ed. John Wiley & Sons, 2011. 240 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 18 jun. 2020.

KEENAN, R. J.; REAMS, G. A.; ACHARD, F.; FREITAS, J. V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9–20, 2015.

LEITE, J. R. M. **Dano Ambiental: do Individual ao Coletivo Extrapatrimonial**. São Paulo: RT, 2003. 352 p.

MATO GROSSO DO SUL. Resolução SEMADE nº 9 de 13 de maio de 2015. Estabelece normas e procedimentos para o licenciamento ambiental estadual, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul**, Campo Grande, 14 mai. 2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=284742>>. Acesso em: 19 jun. 2020.

POTAPOV, P.; HANSEN, M. C.; LAESTADIUS, L.; TURUBANOVA, S.; YAROSHENKO, A.; THIES, C.; SMITH, W.; ZHURAVLEVA, I.; KOMAROVA, A.; MINNEMEYER, S.; ESİPOVA, E. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. **Science Advances**, v. 3, n. 1, p. e1600821, 2017.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.12.1 Bucuresti. 2020. Disponível em: [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html). Acesso em: 24 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Imagem Landsat 8. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 225 ponto 074. De 02 de fevereiro de 2014**. 2014. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: jun. 2020. (a).



USGS. United States Geological Survey. Imagem Landsat 8. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 225 ponto 074. De 30 de setembro de 2014. 2014. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: jun. 2020. (b).

USGS. United States Geological Survey. Imagem Landsat 8. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 225 ponto 074. De 16 de outubro de 2014. 2014. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: jun. 2020. (c).

USGS. United States Geological Survey. Imagem Landsat 8. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 225 ponto 074. De 20 de janeiro de 2015. 2015. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: jun. 2020.

USGS. United States Geological Survey. Imagem Landsat 8. Sensor OLI. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 225 ponto 074. De 12 de abril de 2016. 2016. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: jun. 2020.

VIÉ, J. C.; HILTON-TAYLOR, C.; STUART, S. N. **Wildlife in a Changing World – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species**. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2009. 180 p.

## Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPA

**Anny Keli Aparecida Alves Cândido Bolognez<sup>1\*</sup>, Alessana Franciele Schlichting<sup>2</sup>, Normandes Matos da Silva<sup>3</sup>, Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>4</sup>, Marcelo Ricardo Hauptenthal<sup>5</sup>, Dhonatan Diego Pessi<sup>6</sup>, Domingos Sávio Barbosa<sup>7</sup>, Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco<sup>8</sup>, Pedro Lopes Miranda Júnior<sup>9</sup>**

<sup>1</sup>Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>2</sup>Doutora em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso, <sup>3</sup>Doutor em Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos pela Universidade de São Paulo, <sup>4</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, <sup>5</sup>Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>6</sup>Doutorando em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, <sup>7</sup>Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo, <sup>8</sup>Doutora em Ciências da Computação pela Universidade de São Paulo, <sup>9</sup>Mestre em Gestão e Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso

**\*Autor correspondente:**

Anny Keli Aparecida Alves Cândido Bolognez, Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.  
E-mail: hannykeli@gmail.com

A utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas, popularmente conhecidas como drones, tem se tornado uma realidade. Seus produtos, principalmente as imagens aéreas de alta resolução espacial, são utilizadas em diversas aplicações, por exemplo: gestão territorial, construção civil, meio ambiente, agropecuária, segurança pública e a prevenção e combate a desastres. O uso popularizado dessa tecnologia tem permitido o avanço científico e tecnológico dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, anunciando que mais áreas de conhecimento adotarão suas funcionalidades. Isso resultará em mais avanços, tanto dos equipamentos, como das técnicas de processamento de dados.

### 23.1. Conceito

Aeronaves Remotamente Pilotadas são equipamentos não tripulados, comandados a partir de uma estação de pilotagem remota, e seu uso não é para fins meramente recreativos. O termo drone é utilizado popularmente para descrever qualquer aeronave que possua alto grau de automatismo, principalmente em relação aos multirotores, como os quadricópteros ou hexacópteros. Apesar de ser amplamente utilizado esse termo não consta na regulamentação brasileira.

Em inglês esses equipamentos são conhecidos como *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Remote Piloted Aerial Vehicle* (VARP) e *Unmanned Aerial System* (UAS). A Administração Federal de Aviação Norte Americana (FAA) recomenda o uso da expressão *Unmanned Aerial System* (UAS), considerando que seria uma expressão mais completa que retrataria a complexidade estrutural associada ao sistema de pilotagem. No Brasil adotamos o termo Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA). Quando incluimos a estação de

pilotagem, o equipamento e sua operação, temos o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft System* - RPAS)

As RPA podem ser divididas em três categorias: aeronaves de asa rotativa (helicópteros, quadricópteros, hexacópteros, etc.), aeronaves aerostáticas (dirigíveis e balões de ar quente) e aeronaves de asa fixa (com design que se assemelham a aviões) (ALVES NETO et al. (2013).

## 23.2. Histórico

A ideia de construção de objetos voadores é antiga. Fatos apontam que em 425 a.C. os Archytas da cidade de Taranto, no sul da Itália, protagonizaram o primeiro voo autônomo da história: construíram um pássaro mecânico que movia suas asas a partir da obtenção de energia de um mecanismo interno (TRINDADE et al., 2015). Há relatos que em agosto de 1849, austríacos enviaram 200 balões não tripulados carregados de bombas temporizadas à cidade de Veneza na Itália (ALVES NETO, 2008).

A primeira fotografia aérea conhecida foi obtida em 1858 pelo Francês Gaspard Félix Tournachon (Nadar) por meio de um balão tripulado (NEWHALL, 1969 *apud* JENSEN, 2009). O primeiro registro de aerofotografias por um artefato aéreo remotamente pilotado foi em 1888, na França, por Arthur Batut, que utilizou uma câmera fotográfica acoplada em uma pipa. George R. Lawrence, em 1906, utilizou 17 pipas ao mesmo tempo para obter imagens dos escombros da cidade de São Francisco, nos Estados Unidos da América (EUA), após o terremoto de 18 de abril de 1906 (BAKER *apud* JENSEN, 2009).

Construído por Lawrence e Elmer Aperry em 1916, o *Sperry's Aerial Torpedo* foi precursor dos mísseis guiados e utilizava sistemas giroscópios (COX et al., 2004). Em 1935, Reginald Denny desenvolveu o RP-1, o primeiro veículo aéreo não tripulado a rádio controlado (AMA, 2004).

Nos EUA, os mísseis guiados tipo *Cruise* foram desenvolvidos e amplamente utilizados devido à sua precisão, decorrente de um sistema de navegação embarcado. Na guerra do Iraque, por exemplo, esse míssil foi amplamente empregado devido à sua precisão (HESSMAN, 1973).

Grandes avanços relacionados a esses veículos ocorreram na década de 1970, quando os Estados Unidos e Israel começaram a desenvolver RPA com *designs* compactos de baixo custo e com transmissão em tempo real das imagens que eram obtidas por pequenas câmeras de vídeo (COX et al., 2004).

No Brasil, um dos primeiros relatos de utilização de RPA ocorreu na década de 1980, com o desenvolvimento do projeto Acauã, que tinha como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de ensaio visando ampliar conhecimento na área de eletrônica e aplicar em veículos aéreos manobráveis. Na sequência, houve o desenvolvimento do míssil Piranha e subjetivamente a criação de um protótipo de VANT para diversas aplicações, tanto civis como militares. Foram construídos cinco protótipos, com o primeiro voo em dezembro de 1985.

Apesar das origens bélicas, o uso das RPAs para fins civis e não militares tem ganhado adeptos em todo mundo. No entanto, foram os investimentos militares que proporcionaram os maiores avanços deste tipo de tecnologia. Atualmente, o avanço em diversas áreas tecnológicas e o acesso à internet, acelerou muito o desenvolvimento das RPA, permitindo a troca de informações entre os pesquisadores e, conseqüentemente, o aperfeiçoamento das RPA.

### 23.3. Regularização do Uso de RPA no Brasil

Atualmente o número de Aeronaves Remotamente Pilotadas está em ascensão no país e no mundo. De acordo com a legislação brasileira, que acompanha as normas internacionais, esses veículos são considerados aeronaves e, portanto, estão sujeitos à legislação aeronáutica.

As operações com RPA no Brasil devem seguir o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil elaborado pela ANAC, que estabelece exigências de aeronavegabilidade de acordo com a classe da RPA (Figura 23.1). Porém, há outros instrumentos normativos de órgãos como o Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA), Ministério da Defesa e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

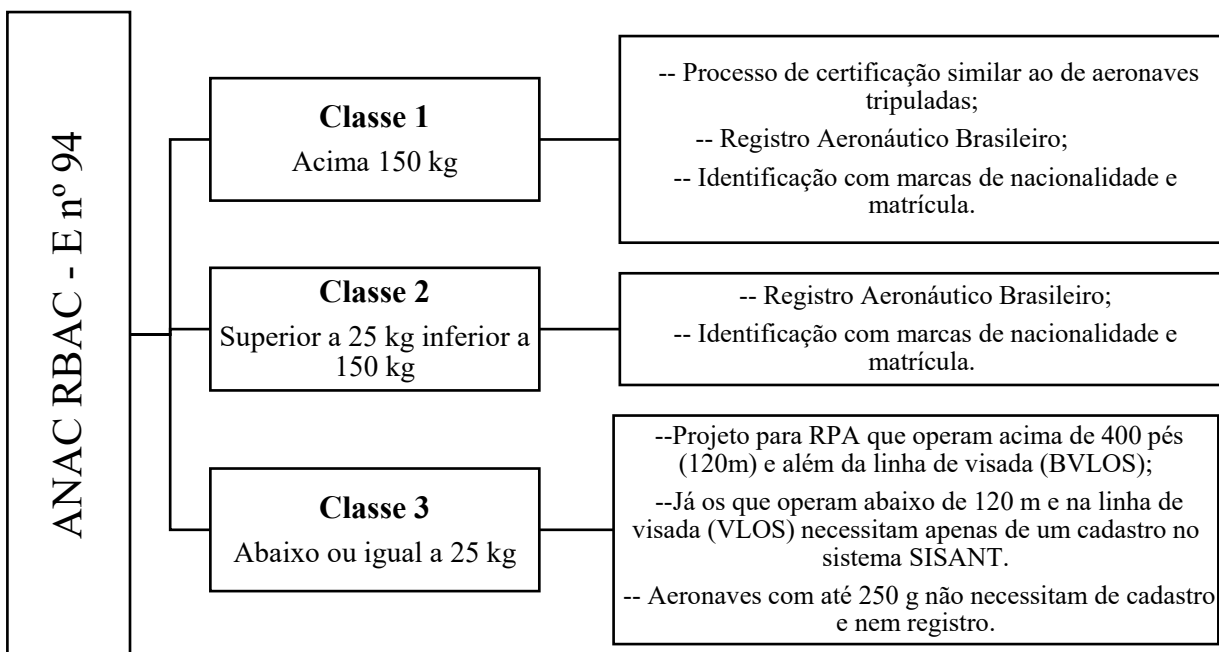


Figura 23.1. Classificação das RPAs e as exigências de aeronavegabilidade de acordo com cada classe (ANAC, 2017). Observação: VLOS – Operação em Linha de Visada Visual (*Visual Line of Sight*); EVLOS – Operação em Linha de Visada Visual Estendida (*Extended Visual Line of Sight*); BVLOS – Operação Além da Linha de Visada Visual (*Beyond Visual Line of Sight*); SISANT – *Sistema de Aeronave Não Tripulada*.

Em relação ao peso, as aeronaves podem ser divididas em três classes, na classe 1 encontram-se as RPAs que possuem peso máximo de decolagem maior que 150 kg; na classe 2 estão as que possuem peso entre 25 kg e 150 kg e na classe 3 encontram-se as RPAs com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg (ANAC, 2017).

Voos totalmente autônomos, que não permitem a intervenção remota do piloto, são proibidos no Brasil. Outro fator relevante presente na legislação da ANAC é que voos com RPA com peso superior a 250 gramas necessitam de autorização prévia das pessoas que se encontram em um raio de 30 metros do local da operação ou a operação terá que ocorrer a mais de 30 metros de distância horizontal de pessoas não anuentes.

Durante a operação da RPA, o piloto necessita de alguns documentos de porte obrigatório, dentre eles estão o manual do equipamento, documento de avaliação de risco operacional e apólice de seguro com cobertura contra danos a terceiros em aeronaves acima de 250 g.

Um resumo dos principais requisitos para operar uma RPA segundo a RBAC-E 94 pode ser observado na Tabela 23.1 (ANAC, 2017).

Tabela 23.1. Resumo dos principais requisitos para operar uma RPA de acordo com a classe de cada aeronave, organização baseado na legislação brasileira vigente.

<b>Critério</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>	
Ter mais de 18 anos	Sim	Sim	Sim	
Registro de voo	Sim	Sim	Não	
Certificado médico aeronáutico - CMA	Sim	Sim	Não	
Cadastro de aeromodelos ou RPA no SISANT	Não	Não	-250g	+250g
			Não	Sim
Licença e habilitação emitidas pela ANAC	Sim	Sim	- 400 pés	+ 400 pés
			Não	Sim
Registro de aeronave	Sim	Sim	VLOS (-250g)	VLOS (+250g) e BVLOS
			Não	Sim
Aprovação ou autorização do projeto	Sim	Sim	- 400 pés	+ 400 pés e BVLOS
			Não	Sim

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo disponibilizou novas regras de acesso ao espaço aéreo, válidas a partir de julho de 2020. Nesse caso, os profissionais do setor podem acessar as normas: MCA 56-1, que versa sobre aeronaves não tripuladas para uso exclusivo em apoio às situações emergenciais (DECEA, 2020a); MCA 56-2, que trata sobre aeronaves não tripuladas para uso recreativo – aeromodelos, que substitui a AIC N 17/18 (DECEA, 2020b); MCA 56-3, que versa sobre aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual e municipal, que substitui a AIC N 23/18 (DECEA, 2020c); MCA 56-4, que discute sobre aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal, que substitui a AIC N 24/18 (DECEA, 2020d); e a ICA 100-40, que remete a aeronaves não tripuladas e acesso ao espaço aéreo brasileiro (DECEA, 2020e). Essa documentação pode ser encontrada no sítio eletrônico <https://www.decea.gov.br/drone/>.

Além das normas mencionadas acima, para operações com RPA no Brasil ainda são necessárias outras autorizações como as da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações),



que regulamenta a exploração do serviço de telecomunicações e de uso de radiofrequências. Na ANATEL é necessária a homologação da faixa de frequência de uso no equipamento, podendo a RPA vir já homologada de fábrica. Se não tiver a homologação, a mesma deve ser feita pelo sítio eletrônico da ANATEL (<https://sistema.anatel.gov.br/mosaico>).

Na Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) ([sistema.anac.gov.br/sisant](https://sistema.anac.gov.br/sisant)) devemos fazer o registro da RPA e do piloto. No procedimento de registros da RPA no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), cadastra-se uma numeração de nove dígitos fornecida pelo proprietário da RPA. Essa numeração servirá como identificação do equipamento, que deverá ser afixada na aeronave, em local visível (ANAC, 2017).

É necessário cadastrar dados da RPA e do piloto no sistema do Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA no sítio eletrônico: <https://www.decea.gov.br/drone/>, para solicitar autorização de voo. Isso é denominado de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) e devemos especificar alguns dados, por exemplo: o raio de abrangência do voo em relação ao ponto de decolagem, altura do solo, o alcance visual, a proximidade de áreas restritas, perigosas ou proibidas, e o horário do intervalo do voo (ANAC, 2017).

No caso das aeronaves classe III, é importante ter atenção à necessidade de o piloto possuir um seguro denominado como seguro RETA que significa “Responsabilidades do Explorador ou Transportador Aéreo”, para cobertura de danos a terceiros. Como mencionado anteriormente, ao longo das execuções das missões com RPA, o operador deve portar a certidão de cadastro junto à ANAC, o seguro RETA, o plano de voo registrado no DECEA e o manual de voo do equipamento, bem como a Avaliação de Risco Operacional (ARO), que serve para garantir que toda a operação com o drone seja realizada de forma segura, garantindo, assim, que todos os riscos, no momento da operação da aeronave, sejam reduzidos. A ARO, em linhas gerais, define o grau de risco da operação, considerando a probabilidade e a severidade em relação à ocorrência de possível acidente, o que implicaria em danos à equipamentos e à integridade física das pessoas, sendo analisado numa matriz de risco.

Em casos específicos, a ANAC deve emitir um Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE). O CAVE é uma autorização que permite o uso de aeronaves experimentais, autorizando operações experimentais sobre áreas não densamente povoadas, não autoriza operações com fins lucrativos ou em áreas urbanas (ANAC, 2016).

Um elemento a mais a ser considerado é em relação às atividades de aerolevanteamento, que envolvem operações aéreas direcionadas à medição, computação e registro de dados do terreno com o emprego de sensores ou outros equipamentos adequados, incluindo a interpretação ou tradução dos dados obtidos. Nesse caso, o aerolevanteamento é regulado pelos: Decreto-Lei nº 1.177/1971 (BRASIL, 1971), Decreto nº 2.278/1997 (BRASIL, 1997) e Portaria nº 953/2014 do Ministério da Defesa (MD) (BRASIL, 2014). Em suma: para a realização do aerolevanteamento é necessária autorização do MD, que é materializada em uma autorização de voo do Ministério da Defesa (AVOMD) (DECEA, 2020f).

Frente às demandas de imageamento aéreo de alta resolução, o uso das RPA é uma tendência de mercado e de exploração científica com potencial de crescimento exponencial para as próximas décadas. Com o avanço dos métodos de automação para aeronaves e o desenvolvimento de sensores de alto desempenho e compatíveis com aplicações em voos não tripulados, acredita-se que nos próximos 20 anos se intensificará mais ainda o desenvolvimento

e aperfeiçoamento dessa tecnologia para aplicações civis. Por isso, torna-se necessário que os diversos grupos de pesquisa envolvidos no desenvolvimento de projetos com RPA estimulem o ensino e inovação científica formando recursos humanos bem qualificados para atuar nesta área.

#### 23.4. Utilização

Existem diversas classes de aeronaves não tripuladas, podendo ser agrupadas de acordo com suas dimensões físicas e capacidade de *payload* (carga útil). Em geral, RPA de uso civil para fins ambientais possuem capacidade de *payload* entre 0,3 a 4,0 kg, sendo possível carregar sensores, câmeras e baterias extras. Para fins militares, de mineração ou vigilância, a capacidade pode variar entre 300 a 2.000 kg. Quanto maior a capacidade de *payload*, maiores as dimensões da aeronave. Conforme aumenta o peso do *payload* a autonomia de voo deve diminuir.

Devido à sua diversidade, as RPAs têm se mostrado uma ferramenta de ampla aplicabilidade, preenchendo um grande nicho de mercado e proporcionando o desenvolvimento de algumas áreas que estavam necessitando de um novo recurso tecnológico. Na gestão territorial auxilia no diagnóstico e monitoramento de desmatamentos, erosões, queimadas, áreas de preservação permanente, etc.

Atualmente, a utilização das RPA na agricultura de precisão e na pecuária está em ascensão, podendo se realizar o acompanhamento desde o plantio à colheita, possibilitando diagnóstico de pragas e doenças nas lavouras entre outros (BARBEDO e KOENIGKAN, 2018). Além disso, estão sendo realizados testes para o transporte de documentos e pequenas encomendas, o que amplia ainda mais sua aplicação comercial.

Os produtos obtidos pelas RPAs são bases de diversas pesquisas em ambientes terrestres, aquáticos, marinhos, costeiros e atmosféricos conforme exposto pela Figura 23.2. As máquinas e sensores acoplados nessas aeronaves estão cada vez mais precisos e específicos para facilitar a obtenção de informações direcionadas ao objetivo de cada pesquisa.

Na segurança interna dos países esses sistemas inteligentes têm desempenhado um importante papel. Em atividades portuárias e em áreas de fronteiras atuam como vigilantes e controladores, de acordo com os interesses do país. Quando ocorrem conflitos em áreas rurais ou de difícil acesso podem diagnosticar a situação sem expor os agentes de segurança, pois sobrevoam o local filmando ou fotografando a área em questão, transmitindo as informações em tempo real para a base de controle ou então armazenando-as para posterior análise. Além disso, após grandes catástrofes ambientais identificam aéreas de risco que necessitam de mais atenção da vigilância civil, demonstrando sua ampla aplicabilidade.

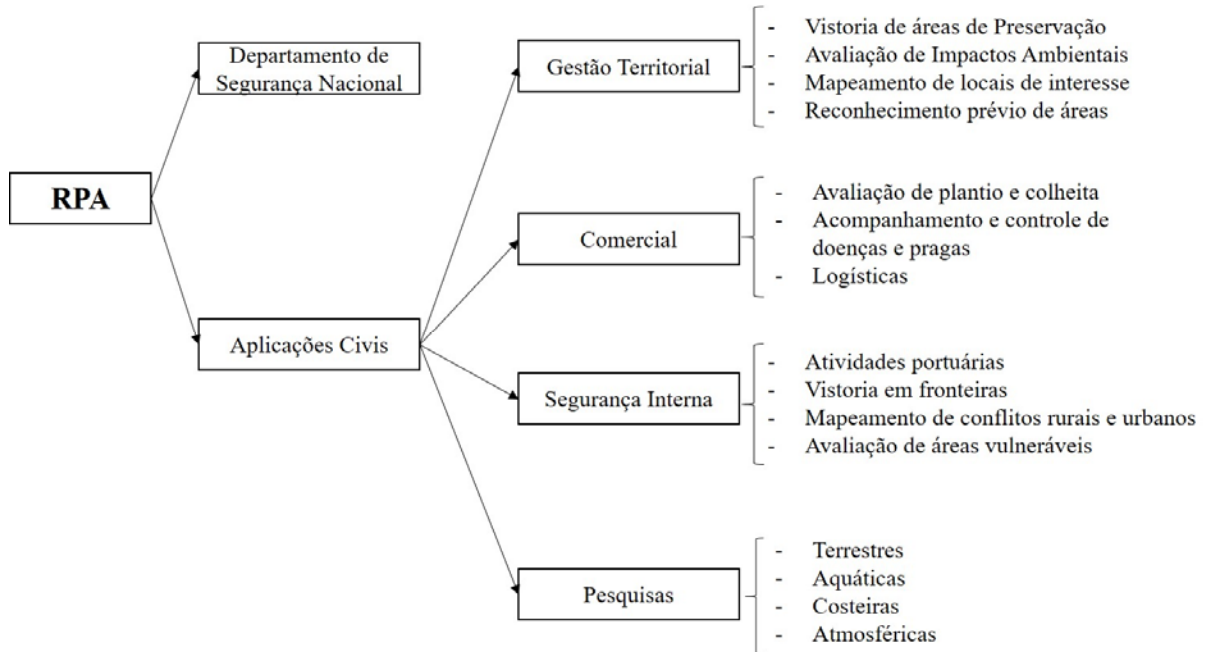


Figura 23.2. Utilização das RPAs com ênfase no setor civil. Aplicabilidade das RPAs nas áreas de gestão territorial, comercial, pesquisa e segurança interna (adaptado de COX et al., 2004).

Dentre vários aspectos importantes em termos de operação de RPA, recomenda-se a realização de um *checklist*, para garantir a execução de uma missão com risco controlado de não conformidades. O *checklist* é representado por uma série de passos (MIRANDA JUNIOR, 2020):

- Verificar se os *firmwares* da RPA e do Rádio Controle (RC) se estão atualizados. Recomenda-se, antes de atualizar os *firmwares*, verificar a presença de *bugs* (versões com defeito) nas versões recentes (uma dica é ver isso em fóruns digitais de confiança, que discutem sobre RPA para garantir a instalação de *firmwares* estáveis);
- Manter os aplicativos que comandam a aeronave atualizados;
- Antes do campo e antes do voo, verificar condições as meteorológicas da área a ser imageada;
- Examinar a integridade física da aeronave, observando se não possui trincas ou amassamentos na carcaça, rompimento de algum tipo de fio, garantindo, assim, a ausência de algum dano estrutural na RPA;
- Conferir a correta colocação e fixação das hélices (no caso de multirotor) e asas (no caso de asa fixa), observando também, antes da instalação, a integridade das peças;
- Averiguar a situação da carga das baterias dos equipamentos, da carcaça da RPA, do controle remoto (RC) e do equipamento utilizado como tela (dispositivo móvel ou *notebook*). Em alguns casos, quando se utilizam equipamentos adaptados na RPA, também deve-se realizar a verificação da carga da bateria dos mesmos, como, por exemplo: câmeras adicionais e kit PPK;
- Retirar o protetor da câmera e verificar a presença do cartão micro SD na RPA para coleta e armazenamento das fotos; de preferência, deve-se usar um cartão micro SD classe 10 ou superior, devido à velocidade de armazenamento dos dados;
- Atentar para o local de pouso e decolagem para evitar abalroamento do equipamento com fios, poste, árvore e construções em gerais;
- Ao ligar o equipamento, verificar as advertências luminosas e sinais sonoros e, também, o perfeito *link* da aeronave com rádio e dispositivo acoplado, cuja quantidade mínima são 12 satélites conectados ao GPS da aeronave;

- j) Verificar, no aplicativo original do equipamento todas as configurações de voo. Entre elas, podemos destacar: calibração da bússola do equipamento, calibração da ou Unidade de Medição Inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*), calibração dos sensores anticolisão (quando houver), configuração da altitude do *return to home* (retorno ao ponto de decolagem), configuração do procedimento de retorno que a aeronave vai adotar caso perca sinal de rádio.
- k) Verificar se foi gravado o *home point* (ponto inicial) antes da decolagem, para adequado retorno após voo.
- l) Caso você não tenha domínio de técnicas de aerofotogrametria, é aconselhável deixar o sensor da câmera no modo automático para que a aeronave ajuste os parâmetros da câmera de acordo com plano de voo.

### 23.3.1. Aplicação em Estudos Ambientais

Devido à diversidade de RPA disponíveis no mercado, é importante verificar a relação custo *versus* benefício para determinar o uso ideal sistema, que atenda as demandas do usuário. Atualmente, as mais indicadas para aplicações na área ambiental são aeronaves equipadas com motores elétricos devido ao menor custo, baixo ruído e a não geração de gases. Também é importante lembrar que, por se tratar de uma aeronave que possui risco de queda, é estratégico que o equipamento possua mecanismos de proteção que diminuam essa probabilidade, bem como acessórios como paraquedas, para evitar colisões que ofereçam risco a pessoas e seus bens como residências e automóveis.

Dentre as vantagens das RPAs está a capacidade de executar diversas tarefas, tais como diagnóstico, monitoramento, reconhecimento tático e mapeamento. Na análise de prós e contras em relação ao uso de RPA como ferramenta para projetos ambientais, a perspectiva é de que as vantagens e potencialidades superam as dificuldades existentes (Tabela 23.2).

Tabela 23.2. Vantagens e desvantagens da utilização das Aeronaves Remotamente Pilotadas em estudos ambientais (adaptado de LONGHITANO, 2010).

Vantagens	Desvantagens
Redução dos custos de obtenção de fotografias aéreas e uso de diferentes tipos de sensores para aplicações em estudos atmosféricos, solos e águas.	Distanciamento da base, o que impede a visualização da aeronave pelo operador, limitando a tomada de ações em caso de emergência.
Maior flexibilidade de resolução temporal para obtenção de fotografias da área de estudo.	Necessidade de revisões periódicas de controle de qualidade.
Atuação em áreas de difícil acesso.	Falta de instrumentos jurídicos regulatórios para sua utilização.
Maior capacidade de manobras e possibilidade de execução de missões em condições adversas, como ambientes biológicos e quimicamente afetados sem o risco de morte para o piloto.	Vulnerabilidade em relação às condições meteorológicas devido às suas pequenas dimensões e pequeno peso, o que o torna mais sensível a variações atmosféricas.

### 23.3.2. Aplicação em Estudos Ambientais – Perspectivas

Antes de efetuar a compra de uma RPA é necessário que o usuário esteja de posse de um projeto de RPA que atenda suas necessidades e possua os requisitos necessários para o desenvolvimento de sua pesquisa ou execução das missões a ele estabelecidas. Esse projeto deve conter especificações a respeito de aplicação, operação, características das áreas a serem imageadas e formas de processamento de dados. As decisões sobre qual tipo de aeronave adquirir, capacidade de *payload* (em função do que será embarcado), tipo de motor (elétrico ou a combustão), método de decolagem (a partir do solo, por lançamento manual ou rebocado), autonomia, tipos de sensores e funcionalidades dependerão das aplicações desejadas em curto e médio prazo (SWINSON et al., 1999).

Por exemplo, para fins de imageamento aéreo ambiental ou agrícola deve-se considerar os tipos de câmeras ou sensores que serão instalados, a forma de armazenamento e de transmissão dos dados, o processamento das fotografias, assegurando-se que existe estrutura em termos de recursos humanos capacitados para tratar os dados gerados. Da mesma forma, requisitos básicos para o correto georreferenciamento de fotografias ou mosaicos gerados dessas são igualmente necessários para o sucesso de um projeto desta natureza. Outro fator importante é o processamento das imagens, que muitas vezes requerem *hardware* com configurações acima das usuais quando comparado com computadores pessoais e *softwares* especializados para a geração dos produtos desejados.

Sabendo dessas dificuldades operacionais, empresas estão investindo em processamentos nas nuvens com baixo custo, como é o caso do *OpenDroneMap* (ODM) que é um sistema de código aberto para fotogrametria aérea. O referido sistema foi desenvolvido por Piero Toffanin e Dakota Benjamin, com contribuição de diversos outros desenvolvedores através da plataforma *GitHub* (PIATTI e LERMA, 2014). Após o mapeamento ocorre o envio das imagens geradas para uma plataforma digital, nesta o processamento é feito nas nuvens e o analista recebe os produtos digitais georreferenciados. Mais detalhes sobre produção de mapas com RPA e utilização do sistema ODM podem ser encontrados na circular técnica 05 da Embrapa de 2018 (SANTOS e KOENIGKAN, 2018).

Atualmente, há uma crescente demanda pelo uso de imagens de alta resolução espacial e temporal e, quando há necessidade de monitoramento periódico em pequenas áreas ou registro da evolução de eventos pontuais, as mesmas são essenciais, pois possibilitam identificar pequenas feições que são imperceptíveis em imagens de média resolução espacial (*pixels* de 30 m). Por isso, diversos grupos de pesquisa e empresas estão contratando serviços de imageamento aéreo derivado de RPA, ou até mesmo comprando esses equipamentos.

Para a tomada de decisão sobre qual tipo de imagem utilizar (satélites ou RPA) é necessário definir com clareza o objetivo do trabalho, a área, a escala, as características da imagem e a periodicidade do imageamento. Dessa forma, é possível decidir se a melhor opção é a compra ou aquisição gratuita de uma determinada imagem de satélite, ou se o ideal é a contratação de serviços para imageamento por RPA. É possível escolher entre câmera fotográfica convencional, que gera imagens sintéticas (RGB) com informações espectrais na região do visível, ou câmeras multiespectrais que, por sua vez, são separadas em bandas contendo informações de diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Essas



imagens possibilitam variadas aplicações, como classificação para uso e cobertura do solo, cálculos de índices de vegetação e estimativas de variáveis como clorofila e densidade da vegetação.

Portanto, é nítido que as RPAs são plataformas aéreas que podem ser operadas por uma estação remota, sendo sua função proporcionar a navegação da aeronave em condições de voo pré-definidas e controle da rota.

Os sistemas de controle autônomos geralmente divididos em unidades de controle e de navegação possuem funções distintas e podem ser executados em diferentes frequências (BARBOSA, 2001; JOHNSON et al., 2001; NERIS, 2001), permitindo a distribuição de tarefas do sistema de piloto automático sobre vários processadores.

A estação de controle da RPA utilizada para enviar os dados da missão (planejador de missão) para a aeronave pode ser um *smartphone* ou mesmo um *tablet*. A maioria das RPAs também possui unidade de orientação automática, baseada em sensores inerciais (giroscópios, acelerômetros e magnetômetro), de pressão barométrica e Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS). Podem ainda contar com sensores não inerciais como medidores de corrente, rotação do motor, tensão de baterias, velocidade (tubo de *pitot*), altura relativa (sonar), fixação de posição (câmera por fluxo ótico), temperatura ambiente e dos equipamentos embarcados, entre outros.

Um exemplo de RPA é o Tiriba (Figura 23.3), o qual possui um sistema automatizado e fornece criptografia para evitar o acesso não autorizado aos dados e informações de controle da aeronave. A decolagem e o pouso do veículo são manuais e se houver problemas durante a missão, o piloto automático envia-o de volta à base. Este modelo RPA possui funções de navegação, controle, sensores e atuadores (BRANCO et al., 2011).



Figura 23.3. Tiriba um modelo de VANT fabricado no Brasil utilizado em aplicações ambientais. Este modelo possui 4 kg, com *payload* de 0,7 kg, autonomia de 1 h e velocidade de cruzeiro de até 100 km/h (adaptado de BRANCO et al., 2011).

Outra possibilidade que se pode elencar é a construção da RPA pelo próprio pesquisador, de forma que atenda suas necessidades e à legislação vigente no Brasil, pois as licenças para voo só serão liberadas caso o veículo se enquadre nas cláusulas das legislações estabelecidas pelos órgãos de fiscalização.

A construção de uma RPA abrange pelo menos quatro etapas. A construção de um modelo inicial e de baixo custo; a construção de uma plataforma final e de baixo custo, com

melhorias construtivas sobre as versões anteriores; o desenvolvimento de um sistema de controle; e por último a análise dos produtos obtidos com os sensores utilizados (HAUPENTHAL, 2019).

HAUPENTHAL (2019) estabeleceu um fluxo de trabalho para construção de uma RPA, e as etapas são: i) a escolha da carcaça; ii) a realização de simulações (teóricas) para dimensionamento dos componentes construtivos; iii) a construção, realização de testes e iv) surgindo necessidade de ajustes ou o ocorrendo falhas retorna-se a etapa necessária a correção. O autor menciona que nesta etapa é necessário conhecimentos de pilotagem de um aeromodelo e que só após a obtenção de uma aeronave cujo projeto é estável e funcional é possível a seleção de uma controladora e consequente a realização de testes.

Após a construção da aeronave, o pesquisador tem a possibilidade de acoplar sensores de sua preferência e que atenda aos objetivos do seu trabalho. Atualmente, há diversas comunidades na *internet* que estão desenvolvendo *softwares* livres para controle de RPA, possibilitando maior agilidade e aprimorando missões, de forma que os voos fiquem cada vez mais autônomos, com mais segurança e maior área de cobertura sem perda de qualidade dos *links* de comunicação.

A Figura 23.4 exemplifica uma RPA construída na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, controlada a partir do *software* livre Mission Planner. Seu peso é de aproximadamente 2,5 kg com autonomia de voo de 40 a 70 minutos dependendo das condições atmosféricas. Possui um GPS acoplado para orientação durante o voo e para que as fotografias possuam informações de coordenada geográfica do local em que foi capturada; a RPA permite voo a partir de um sistema de *waypoints* para percorrer de forma automatizada uma rota predeterminada. Há transmissão de imagem em tempo real (FPV), o que permite que o piloto assuma o controle de forma manual, caso ocorra alguma não conformidade ao longo da execução da missão.



Figura 23.4. Decolagem de RPA por lançamento Manual. RPA construída por graduando em Engenharia Ambiental da UFMS, o qual é coautor deste capítulo. A carcaça é de isopor, envergadura de 218 cm, com *payload* de 1,2 kg, com velocidade de cruzeiro de até 55 km/h.

#### 23.3.4. Alguns Exemplos de Sensores Embarcados em RPA

#### 23.3.4.1. Sensores de Aeronaves Remotamente Pilotadas: uma Visão Geral

Atualmente existe no mercado uma gama de sensores para RPAs para aplicações profissionais, e muitos sensores são versões em miniatura e de baixo custo de instrumentos existentes (e caros) para plataformas aéreas e de satélite, como câmeras multiespectrais, hiperespectrais, de alcance curto e médio (por exemplo, térmicas) e LiDAR (detecção e alcance da luz) (YAO et al., 2019; PESSI et al., 2020). Conhecer as características desses sensores e suas especificações contribuirá para engenheiros e cientistas executarem tarefas específicas com RPA. No entanto há uma lacuna de conhecimento sobre as características dos dados do sensor e as possíveis aplicações, observa-se que os dados da RPA devem ser melhor processados e analisados, dadas as vantagens de sua resolução para as diferentes aplicações (YAO et al., 2019). A seguir será abordado sensores e os dados que eles fornecem.

#### 23.3.4.2. Câmeras RGB

Câmeras RGB, também conhecidas como câmeras digitais de banda curta ou câmeras de espectro visível, funcionam com as três bandas do espectro eletromagnético sensível à visão humana, conhecidas como RGB, que significa: vermelho, verde e azul, respectivamente. Essas câmeras fotográficas digitais oferecem adequada resolução espacial e qualidade de produtos fotogramétricos, dados com baixa relação sinal/ruído para análise como segmentação e classificação de imagens, são fáceis de transportar e operar, mas têm limitações em termos de fluxo contínuo de imagens e do espaço de memória (PESSI et al., 2020).

As câmeras digitais convencionais têm uma matriz de filtros coloridos (como um padrão *Bayer*) cobrindo um único chip de silício, cada pixel é encaixado pelas outras duas cores do *array* de filtros (NEBIKER et al., 2016). Para formação da fotografia, o arquivo de imagem bruto tem que ser desmembrado para obter as três bandas espectrais RGB. Há empresas que fornecem sistemas personalizados para diferentes aplicações, como é o caso das câmeras RGB modificadas. Essas câmeras possuem os filtros de cores *Bayer* alterados: ao invés dos filtros comuns azul, verde e vermelho, esses são modificados para outros comprimentos de onda, como verde, vermelho e infravermelho próximo (NIR, 780 nm). Como a separação de cores ocorre diretamente no sensor através dos filtros da *Bayer*, a câmera modificada ao invés de ser RGB, torna-se NGR (NIR, *Green*, *Red*), esse procedimento é muito adotado na câmera compacta Canon S110 (PESSI et al., 2020).

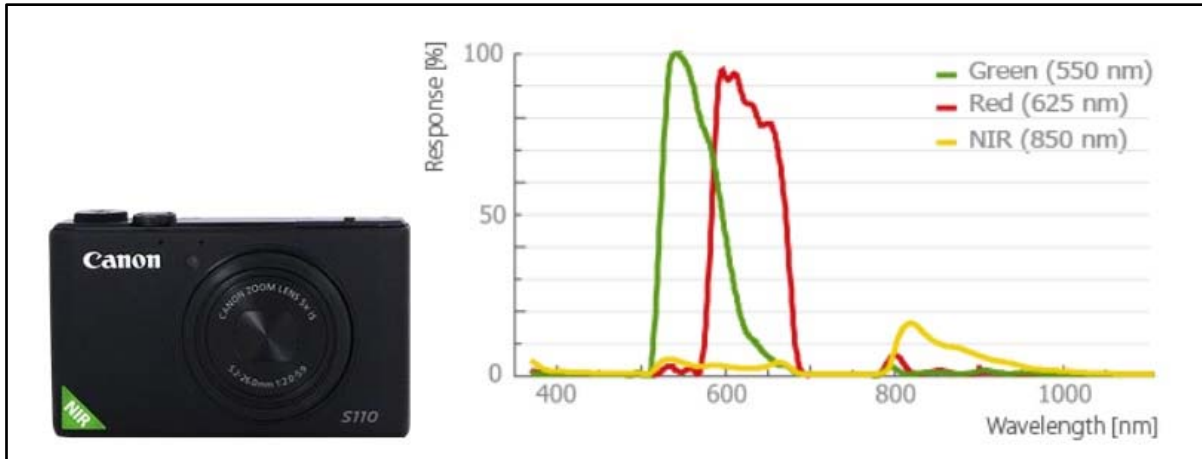


Figura 23.5. Câmera modificada com os filtros NIR, GREEN, RED (NGR), modelo S110 da Canon (NEBIKER et al., 2016).

### 23.3.4.3. Câmeras Multiespectrais e Hiperespectrais

As câmeras multiespectrais são sensores comumente usados devido aos seus benefícios em obter informações espectrais nas faixas de borda vermelha e infravermelho próximo, são muito utilizadas para análises de vegetação e possuem resolução espacial extremamente alta quando comparadas a produtos disponíveis de outras plataformas. Os sensores multiespectrais normalmente possuem quatro ou mais bandas espectrais, que cobrem grandes faixas de comprimento de onda. Essas câmeras são capazes de capturar além da radiação vermelha, verde e azul, os comprimentos de onda mais intermediários e ainda mais curtos e longos, pertencentes aos espectros ultravioleta e infravermelho (PESSI et al., 2020). Câmeras com a banda de infravermelho próximo (por exemplo, Canon PowerShot SX260) podem ser usadas para diferentes aplicações, principalmente envolvendo análise de vegetação tanto para a área ambiental como para agropecuária. Dentre os principais produtos estão os índices de vegetação. Na Figura 23.6 é ilustrado um exemplo dos espectros de uma câmera multiespectral.

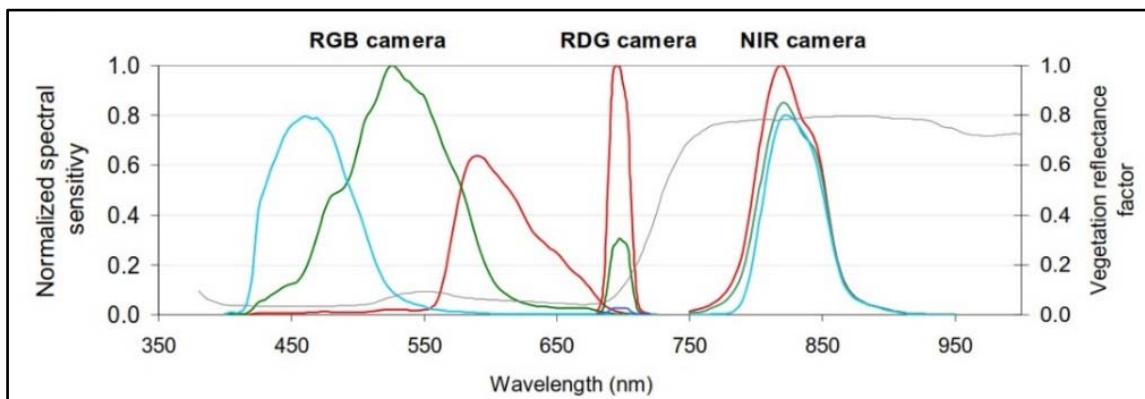


Figura 23.6. Exemplo de uma câmera multiespectral com as bandas RGB, NIR, RDG-RedEdge (LEBOURGEOIS et al., 2008).

As câmeras hiperespectrais apesar de serem muito eficientes, possuem alto valor agregado e restrições na compatibilidade do sensor com as RPAs. Esses sensores são capazes de capturar imagens com centenas de bandas estreitas (largura de banda de 5 nm a 10 nm)

(Figura 23.7) (YAO et al., 2019) e possuem grande desempenho de perfil em produtos finais devido aos seus espectros quase contínuos. Abrange detalhes espectrais que podem passar despercebidos em dados multiespectrais devido à sua natureza discreta e esparsa (PESSI et al., 2020). Um dos campos de aplicação mais promissores é o da agricultura de precisão, onde imagens hiperespectrais são utilizadas para coletar dados fenológicos das plantas, presença de stress metabólico nos indivíduos, e para determinar a taxa de germinação de sementes (NANSEN et al., 2015). Essa tecnologia também pode ser usada para detectar defeitos internos em produtos alimentícios (ZHANG et al., 2015), na biotecnologia é usada para estudos de coral (BAROTT et al., 2009) e células (POLERECKY et al., 2009), nas análises de bactérias (BACHAR et al., 2008; KUHLE e POLERECKY, 2008) e em aplicações de monitoramento ambiental que permitem medir as emissões de CO<sub>2</sub> na superfície, mapear formações hidrológicas e rastrear os níveis de poluição (KEITH et al., 2009; SPANGLER et al., 2009).

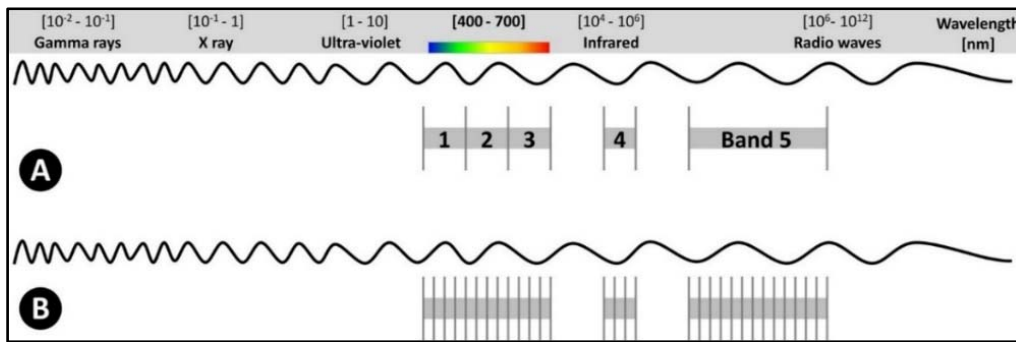


Figura 23.7. Em (A) exemplo multiespectral, com 5 bandas largas; em (B) exemplo hiperespectral que consiste em várias bandas estreitas que, geralmente, se estendem a centenas ou milhares delas (ADÃO et al., 2017).

#### 23.3.4.4. Sensor Térmico e Sensor LiDAR

O uso de sensores térmicos em RPA ainda não é comum devido principalmente ao seu alto custo, peso e tamanho, precisando de RPAs robustos e capazes de suportá-los (SHENG et al., 2010; HUNT e DAUGHTRY, 2018).

Os sensores térmicos são frequentemente utilizados para detecção em tempo real de várias faixas de temperaturas de alvos imageados, medir emissões térmicas, além dos dados de infravermelho térmico, que são empregados para diversas aplicações agrícolas e ambientais (YAO et al., 2019; PESSI et al., 2020). A resolução dos dados dos sensores térmicos transportados por RPA, operando em baixa altitude aumenta a capacidade das câmeras térmicas de quantificar precisamente objetos pequenos, como humanos (RUDOL e DOHERTY, 2008), centros de incêndio (AMBROSIA et al., 2003) e detecção de vazamentos de tubos (IBARGUREN et al., 2013).



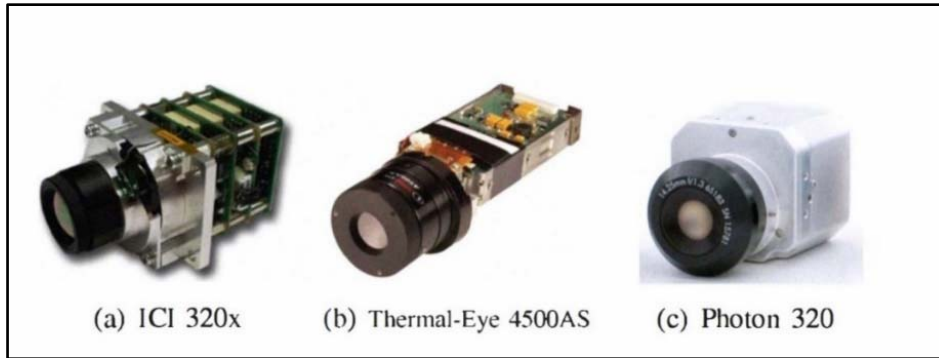


Figura 23.8. Alguns exemplos de câmeras de imagem TIR não refrigeradas (a) ICI 320x, (b) *Thermal-Eye* 4500AS, (c) *Photon* 320 (SHENG et al., 2010).

Os sensores LiDAR (Detecção de Luz e Alcance) são conhecidos como uma das formas mais precisas de aquisição de dados espaciais geométricos. Amplamente utilizado em silvicultura, patrimônio cultural e modelagem de informações de construção, e no transporte aéreo (YAO et al., 2019). As vantagens do LiDAR sobre a fotogrametria são a alta confiabilidade e a capacidade de penetrar florestas delgadas através de múltiplos retornos.

Esses sensores, mesmo aqueles com custo relativamente baixo, ainda são de ordem de magnitude superior às câmeras RGB e exigem cargas úteis mais altas (até alguns quilogramas). Portanto, em termos de custos e sensores necessários para a integração, o sistema RPA LiDAR ainda não é tão acessível, mas é muito promissor, pois já foi demonstrado que dados sensoriais RGB+LiDAR bem registrados podem melhorar prontamente a medição e precisão de interpretação (CAMPOS-TABERNER et al., 2016; VO et al., 2016).

### 23.3.3. RPA para Aplicações Ambientais

Weis (2020) avaliou o potencial das RPA no estudo de erosões lineares em Rondonópolis, Mato Grosso, região com intensa produção agropecuária. Em sua pesquisa utilizou-se pontos de controle coletados com receptor GNSS RTK, para diminuir as incertezas/erros posicionais das imagens obtidas pelo RPA *Phantom* 4 Pro, e foi possível verificar que a inserção dos pontos de apoio controle diminuiu de maneira significativa os erros de projeção contidos nas imagens referenciadas, sendo que antes o erro total nos eixos x, y e z estava estimado em 8,507m e após a inserção o erro passou a ser de 0,191m. Isso dá suporte para dinamizar as medidas de mitigação de impactos em campo, como maior agilidade e exatidão, para, por exemplo, a determinação dos terraços em nível e análise em escala fina da dinâmica de escoamento superficial das águas pluviais no terreno.

Cândido (2012) realizou diversos testes de classificação supervisionada e não supervisionada com imagens sintéticas (fotografias obtidas por câmeras convencionais), derivadas de RPA. Tinha-se como proposta avaliar o potencial dessas imagens suborbitais como elemento de suporte à decisão na elaboração e acompanhamento de áreas de preservação permanente degradadas. Isso permitiu propor uma rotina técnica que pode ser incluída em roteiros metodológicos de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA). Parte dos resultados dos testes de classificação, que tiveram como objetivo a delimitação de uma área de preservação permanente degradada, estão ilustradas na Figura 23.9.

Tendo como referência a fotografia classificada por fotointerpretação (Figura 23.9-B), constatou-se elevado grau de similaridade (análise de dendograma com coeficiente de correlação 0,968) com a rotina de classificação supervisionada por região (Figura 23.9-C). Essa rotina pode ser obtida em menor intervalo de tempo quando comparada com o procedimento tradicional por fotointerpretação.

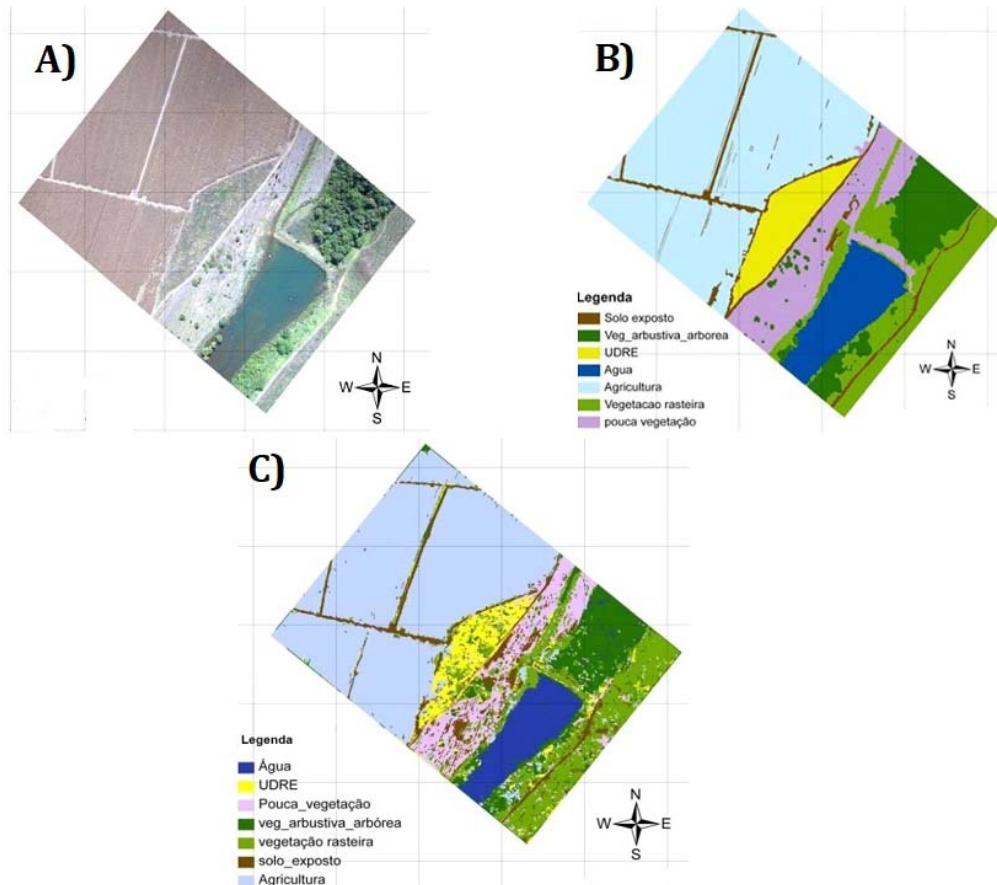


Figura 23.9. (A) Fotografia aérea derivada de RPA com 10 cm de resolução espacial e composição sintética (RGB). (B) Fotografia classificada a partir de fotointerpretação. (C) Imagem aérea submetida à classificação supervisionada por região, utilizando na segmentação com grau de similaridade 20 e área 200 no SIG SPRING (INPE, 2007; CÂNDIDO, 2012).

Nesse caso, constataram-se evidências da funcionalidade do uso de imagens sintéticas derivadas de RPA para o monitoramento de áreas degradadas em fase inicial de regeneração vegetal. Deve-se ressaltar que o uso de câmeras multiespectrais tende a incrementar o trabalho com mais detalhes, por exemplo, em termos de diferenciação de variação fenológica e stress metabólico nas plantas, ou na busca por assinaturas espectrais no interior do ecossistema que está em processo de recuperação.

Em outro trabalho Cândido et al (2016), a partir de imagens RGB obtidas por RPA estimaram a clorofila de corpos d'água no Pantanal, por meio de imageamento aéreo e coleta de amostras de água em campo, para extração de clorofila em laboratório por meio do método NUSCH (1980), utilizando sonda multiparamétrica. Os resultados laboratoriais de análise de

clorofila foram utilizados posteriormente para treinar o sistema de classificação de imagens e servir de base para automatizar de forma remota esse trabalho.

Para estimar a clorofila da água foram gerados três índices de vegetação diferentes, o RAVI ( $GREEN/RED$ ), o NRAVI ( $GREEN-RED/GREEN+RED$ ) e o ExG ( $2*GREEN-RED-BLUE$ ). A partir dos índices foram coletadas amostras com três repetições em cada ponto de coleta e, posteriormente, realizou-se correlação de *Pearson* e regressão linear com os dados de clorofila e com as amostras dos índices de vegetação no *software* estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Para estimar a clorofila, utilizou-se a equação obtida através da regressão linear e substituiu-se a incógnita “X” pela média aritmética de amostras do índice de vegetação, sendo o resultado da equação a clorofila estimada. Houve alta correlação entre os índices de vegetação e a clorofila extraída em laboratório e em relação aos valores estimados de clorofila os mesmos ficaram muito próximos aos obtidos em campo, como pode ser observado na figura 23.10 (CÂNDIDO et al., 2016).

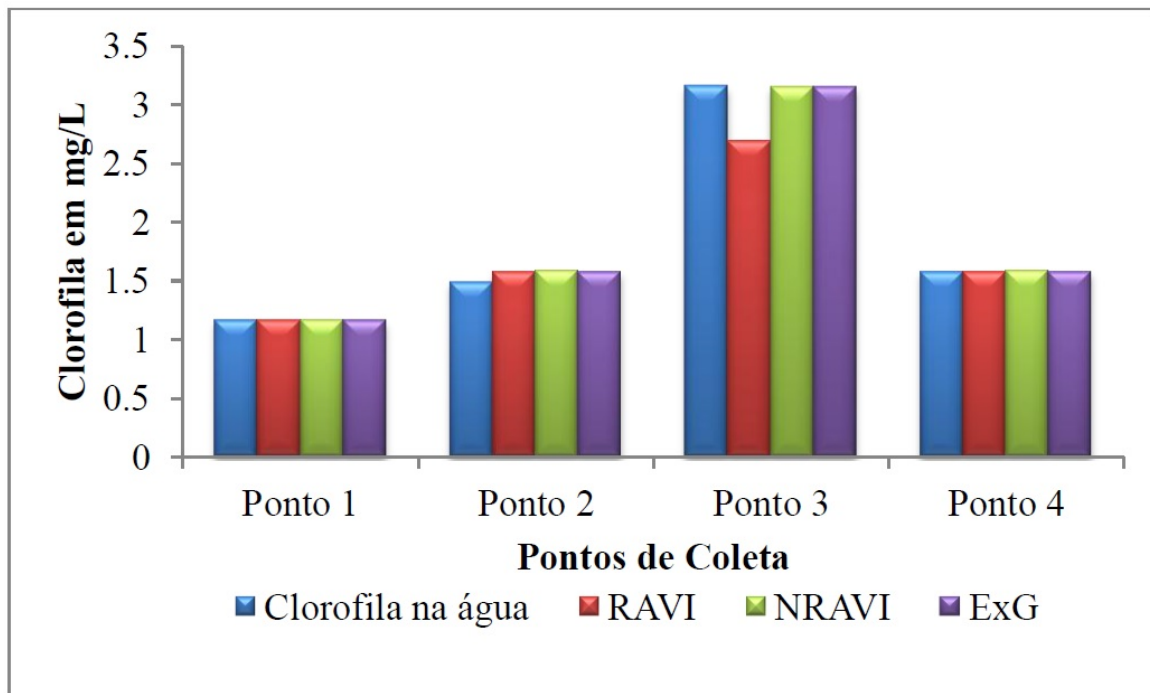


Figura 23.10. Comparação entre clorofila extraída em laboratório com a estimada a partir dos índices de vegetação das fotografias aéreas obtidas por RPA.

Índices de vegetação também foram utilizados para diferenciar lagoas salinas de baías na Nhecolândia, no Pantanal Sul Mato-grossense e analisar o comportamento espectral das diferentes feições presentes na região. O Pantanal é uma extensa planície alagada, pode ser dividido em regiões com características bem distintas, uma delas é a Nhecolândia, região muito peculiar por ser constituída por milhares de lagoas de água doce e salobras (Figura 23.11A). Os índices gerados a partir de fotografias RGB de uma RPA possibilitou observar comportamento espectral diferenciado, o que possibilitou separar lagoas baías de salinas assim como analisar diferentes feições presentes na área de estudo (CÂNDIDO et al., 2017).

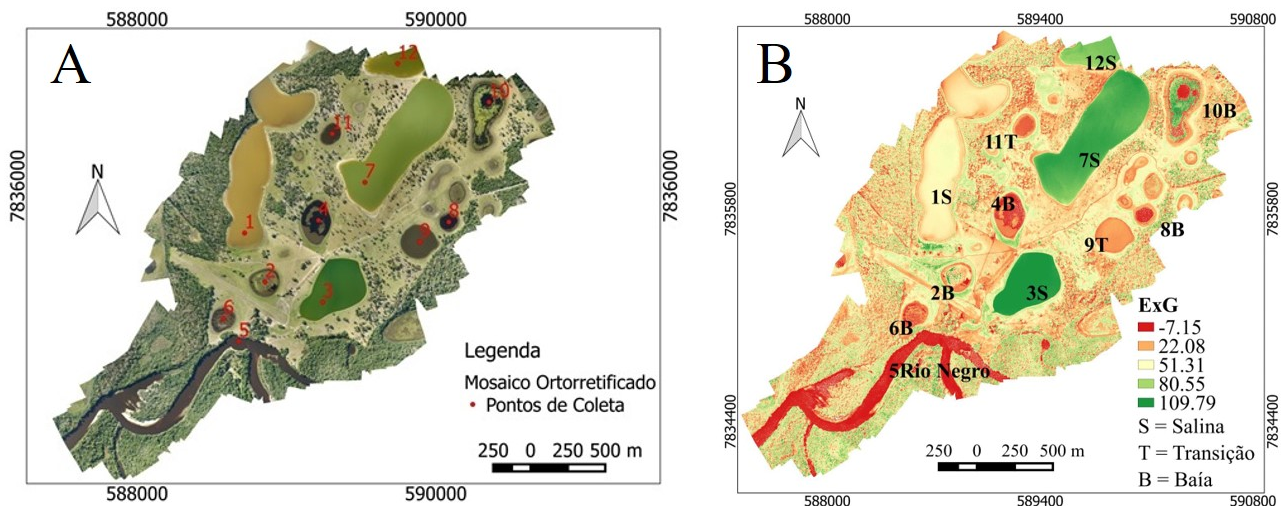


Figura 23.11. Em “A” tem-se o mosaico de fotografias aéreas da área de estudo e a localização dos pontos de coleta. Os pontos 1, 3, 7 e 12 são referentes às salinas, já os pontos 2, 4, 5, 6, 8, 10 são as baías e os pontos 9 e 11 são lagoas estão em processo de transição. E em “B” tem-se o Índice de Vegetação Excesso de Verde (ExG) gerado a partir do mosaico de fotografias aéreas obtidas por RPA.

Observa-se que onde há água doce, o índice apresenta valores baixos, ou seja, coloração avermelhada e valores mais altos nas salinas, coloração esverdeadas (Figura 23.11B).

A utilização de câmeras multiespectrais apresenta-se como uma forte tendência de pesquisa e desenvolvimento do uso de RPA para fins ambientais, fomentando o diagnóstico ambiental por imagens. Muito além das imagens na região do visível os sinais multiespectrais oferecem a possibilidade de calibração com substâncias ou grupos de substâncias químicas específicas em solos e águas.

## 23.5. Referências

ADÃO, T.; HRUSKA, J.; PÁDUA, L.; BESSA, J.; PERES, E.; MORAIS, R.; SOUZA, J. J. Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1110, p. 1-31, 2017.

ALVES NETO, A. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não tripulados**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

ALVES NETO, A.; MACHARET, D. G.; CAMPO, M. F. M. Feasible path planning for fixed-wing UAVs using seventh order Bézier curves. **Journal of the Brazilian Computer Society**, v. 19, n. 3, p. 193-203, 2013.

AMA. Academy of Model Aeronautics. **The AMA History Project Presents: Biography of Reginald Leigh Denny**. 2004. Disponível em: <https://www.amaflight school.org/sites/default/files/DennyReginald.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

AMBROSIA, V. G.; WEGENER, S. S.; SULLIVAN, D. V.; BUECHEL, S. W.; DUNAGAN, S. E.; BRASS, J. A.; STONEBURNER, J.; SCHOENUNG, S. M. Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 4, p. 391-402, 2003.



ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **O que é o Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE)?** 2016. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/faq/o-que-e-o-certificado-de-autorizacao-de-voo-experimental-cave>. Acesso em: 20 jul. 2020.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 52, 03 mai. 2017. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2017/resolucao-no-419-02-05-2017/@@display-file/arquivo\\_norma/RA2017-0419.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2017/resolucao-no-419-02-05-2017/@@display-file/arquivo_norma/RA2017-0419.pdf). Acesso em: 20 jul. 2020.

BACHAR, A.; POLERECKY, L.; FISCHER, J. P.; VAMVAKOPOULOS, K.; BEER, D. D.; JONKERS, H. M. Two-dimensional mapping of photopigment distribution and activity of chloroflexus-like bacteria in a hypersaline microbial mat. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 65, n. 3, p. 434-448. 2008.

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V. Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. **Outlook on Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 214-222, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0030727018781876>>. Acesso em 28 jun. 2020.

BARBOSA, L. C. P. **SiNaCoM - Sistema de navegação e controle de missão do Projeto ARARA**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Matemáticas e da Computação) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2001.

BAROTT, K.; SMITH, J.; DINSDALE, E.; HATAY, M.; SANDIN, S.; ROHWER, F. Hyperspectral and physiological analyses of coralalgal interactions. **PLoS ONE**, v. 4, n. 11, p. 8043, 2009.

BRANCO, K. R. L. J. C.; PELIZZONI, J. M.; NERIS, L. O.; NEWHALL, O.; OSÓRIO, F. S.; WOLF, D. F. Tiriba a new approach of UAV based on model driven development and multiprocessors. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION - ICRA Communications, 2011, Shanghai. **IEEE**. Shanghai, 2011. p.1-4.

BRASIL. **Decreto Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971**. Dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional, e dá outras providências. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Diário Oficial da União**, 21 jun. 1971.

BRASIL. Decreto Lei nº 2.278, de 17 de julho de 1997. Regulamenta o Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, que dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 15202, 18 jul. 1997.

BRASIL. Portaria Normativa nº 953, de 16 de abril de 2014. Dispõe sobre a adoção de procedimentos para a atividade de aerolevanteamento no território nacional. Ministério da Defesa. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 14, 17 abr. 2014.

CAMPOS-TABERNER, M.; ROMERO-SORIANO, A.; GATTA, C.; CAMPS-VALLS, G.; LAGRANGE, A.; SAUX, B. L.; BEAUPÈRE, A.; BOULCH, A.; CHAN-HON-TONG, A.; HERBIN, S. Processing of Extremely High-Resolution LiDAR and RGB Data: Outcome of the 2015 IEEE GRSS Data Fusion Contest–Part A: 2-D Contest. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 5547–5559, 2016.

CÂNDIDO, A. K. A. A. **Tratamento de imagens orbitais e suborbitais para caracterização ambiental da Cabeceira do rio São Lourenço-MT**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2012.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C.; SILVA, N. M.; HAUPENTAL, M. R.; CORREA, J. S.; RIBEIRO, M. L. Water Quality and Chlorophyll Measurement Through Vegetation Indices



Generated from Orbital and Suborbital Images. **Water, Air, Soil & Pollution**, v. 227, p. 1-11, 2016.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C.; SILVA, N. M.; HAUPENTAL, M. R.; AMORIM, G. M. Bays and Saline Pond Classification Generated from the Nhecolândia Pantanal Aerial Photograph Vegetation Indexes. **Water, Air, Soil & Pollution**, v. 228, p. 354-366, 2017.

COX, T. H.; NAGY, C. J.; SKOOG, M. A.; SOMERS, I. A.; WARNER, R. **Civil UAV Capability Assessment**. Draft Version. NASA and CSM. 2004. 103 p.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 110/DGCEA, de 22 de maio de 2020**. Aprova a edição do MCA 56-1, Manual que trata de “Aeronaves não tripuladas para uso exclusivo em apoio às situações emergenciais”. 2020a.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 113/DGCEA, de 25 de maio de 2020**. Aprova a edição do MCA 56-2, Manual que trata de “Aeronaves não tripuladas para uso recreativo – aeromodelos”. 2020b.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 109/DGCEA, de 22 de maio de 2020**. Aprova a edição do MCA 56-3, Manual que trata de “Aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual e municipal”. 2020c.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 111/DGCEA, de 22 de maio de 2020**. Aprova a edição do MCA 56-4, Manual que trata de “Aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal”. 2020d.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 112/DGCEA, de 22 de maio de 2020**. Aprova a reedição da ICA 100-40, Instrução sobre “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. 2020e.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Orientações: Aerolevanteamento: é obrigatória a autorização do Ministério da Defesa**. 2020. Disponível em: <<https://www.decea.gov.br/drone/>>. Acesso em 21 de junho de 2020. 2020f

HAUPENTAL, M. R. **Montagem de veículo autônomo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2019.

HESSMAN, J. D. **RPVs for the Navy**. In: *Sea Power*. p.32-35. 1973.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture? **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15-16, p. 5345-5376, 2018.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING**. Versão 4.3.3. São José dos Campos: INPE, 2007.

IBARGUREN, A.; MOLINA, J.; SUSPERREGI, L.; MAURTUA, I. Thermal tracking in mobile robots for leak inspection activities. **Sensors**, v. 13, n. 10, p. 13560-13574, 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphany (Coord). São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009. 604 p.

JOHNSON, E. N.; FONTAINE, S. G.; KAHN, A. D. Minimum Complexity Uninhabited Air Vehicle Guidance and Flight Control System. In: **DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE**, 20., 2001, Daytona Beach, FL. **IEEE; AIAA**. Daytona Beach, 2001.

- KEITH, C. J.; REPASKY, K. S.; LAWRENCE, R. L.; JAY, S. C.; CARLSTEN, J. L. Monitoring effects of a controlled subsurface carbon dioxide release on vegetation using a hyperspectral imager. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 3, n. 5, p. 626-632, 2009.
- KUHL, M.; POLERECKY, L. Functional and structural imaging of phototrophic microbial communities and symbioses. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 53, n. 1, p. 99-118, 2008.
- LEBOURGEOIS, V.; BÉGUÉ, A.; LABBÉ, S.; MALLAVAN, B.; PRÉVOT, L.; ROUX, B. Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. **Sensors**, v. 8, n. 11, p. 7300-7322, 2008.
- LONGHITANO, G. A. **VANT para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2010.
- MIRANDA JUNIOR, P. L. **Sistematização de procedimentos para análise de crescimento vegetal através de aeronaves remotamente pilotadas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2020.
- NANSEN, C.; ZHAO, G.; DAKIN, N.; ZHAO, C.; TURNER, S. R. Using hyperspectral imaging to determine germination of native Australian plant seeds. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 145, p. 19-24, 2015.
- NEBIKER, S.; LACK, N.; ABACHERLI, M.; LADERACH, S. Light-weight multispectral Uav sensors and their capabilities for predicting grain yield and detecting plant diseases. *In: ISPRS CONGRESS, 23., 2016, Prague, Czech Republic. Anais [...].* Prague, 2016. p. 963-970.
- NERIS, L. O. **Um Piloto Automático para as Aeronaves do Projeto ARARA**. 2001. Dissertação (Mestrado do em Ciência Matemática e Computação) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2001.
- NEWHALL, B. **Airborne Camera: The World from the Air and Outer Space**. 1 ed. New York: Editora Hastings House, 1969. 144 p.
- NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol**, v. 14, p. 14-36, 1980.
- PESSI, D. D.; BELIN, R. B.; MIRANDA JUNIOR, P. L.; SILVA, N. M. Aeronaves remotamente pilotadas e suas aplicações no manejo agrícola e ambiental. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 2, e26605, 2020.
- PIATTI, E. J.; LERMA, J. L. Generation of true ortho-images based on virtual worlds: learning aspects. **The Photogrammetric Record**, v. 29, n. 145, p. 49-67, 2014.
- POLERECKY, L.; BISSETT, A.; AL-NAJJAR, M.; FAERBER, P.; OSMERS, H.; SUCI, P. A.; STOODLEY, P.; DE BEER, D. Modular spectral imaging system for discrimination of pigments in cells and microbial communities. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 3, p. 758-771, 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing and graphics**, Version 3.2.0. R Foundation for Statistical Computing. Software livre, 2008.
- RUDOL, P.; DOHERTY, P. Human body detection and geolocalization for UAV search and rescue missions using color and thermal imagery. *In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2008, Big Sky, MT, USA. Proceedings [...]* Big Sky, 2008. p 1-8.

- SANTOS, T. T.; KOENIGKAN, L. V. **Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap**. Circular Técnica 05. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas. 2018.
- SHENG, H.; CHAO, H.; COOPMANS, C.; HAN, J.; MCKEE, M.; CHEN, Y. Low-Cost UAV-Based Thermal Infrared Remote Sensing: Platform, Calibration and Applications. *In: IEEE/ASME INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONIC AND EMBEDDED SYSTEMS AND APPLICATIONS, 2010, MESA. Proceedings [...]*. MESA, 2010. p. 38-43.
- SPANGLER, L. H. et al. A shallow subsurface controlled release facility in bozeman, montana, USA, for testing near surface CO2 detection techniques and transport models. **Environmental Earth Sciences**, v. 60, n. 2, p. 227-239, 2009.
- SWINSON, J.; WALKER, S.; JAMES, T. J. **Horizontal and vertical takeoff and landing unmanned aerial vehicle**. U.S. Patent and Trademark Office, n. 5.890.441. Depósito: 6 abr. 1999.
- TRINDADE, O. JR.; BRANCO, K. R. L. J. C.; NERIS, L. O.; CHAVIER, L. F. C. Robôs Aéreos. *In: ROMERO, R. A. F.; OSÓRIO, F. S.; WOLF, D. F.; SILVA JR, E. P. E. (org.). Robótica Móvel*. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. p. 461-478.
- VO, A.; TRUONG-HONG, L.; LAEFER, D.F.; TIEDE, D.; D'OLEIRE-OLTMANN, S.; BARALDI, A.; SHIMONI, M.; MOSER, G.; TUIA, D. Processing of Extremely High-Resolution LiDAR and RGB Data: Outcome of the 2015 IEEE GRSS Data Fusion Contest—Part B: 3-D Contest. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 5560-5575, 2016.
- WEIS, M. G. **Uso de imagens aéreas de alta resolução espacial para detecção e caracterização de processos erosivos**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, Mato Grosso, 2020.
- YAO, H.; QIN, R.; CHEN, X. Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review. **Remote Sensing**, v. 11, n. 12, p. 1443, 2019.
- ZHANG, Q.; QIN, R.; HUANG, X.; FANG, Y.; LIU, L. Classification of ultra-high resolution orthophotos combined with DSM using a dual morphological top hat profile. **Remote Sensing**, v. 7, n. 12, p. 16422-6440, 2015.

## Glossário

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>1\*</sup>, Gustavo Ferreira de Souza<sup>2</sup>, Lorena Avelina Rojas Gutierrez<sup>3</sup>, Jéssica Rabito Chaves<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, <sup>2</sup>Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais.,

<sup>3</sup>Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais,

<sup>4</sup>Doutoranda em Tecnologias Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da UFMS.

**\*Autor correspondente:**

Antonio Conceição Paranhos Filho, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mail: antonio.paranhos@ufms.br

### A

**ACUIDADE** - Capacidade do olho humano em perceber detalhes e variações em uma imagem. Ela depende de fatores como forma, contraste e textura da imagem, ou ainda se é colorida ou não.

**ACURÁCIA** - ou acuracidade - Descreve a proximidade do valor amostrado com o valor verdadeiro, é a diferença entre o valor esperado e o valor verdadeiro.

Ver também PRECISÃO.

**ADJACÊNCIA** - Conceito topológico que permite ao sistema identificar quais polígonos estão ao lado uns dos outros, pois a topologia lhe permite identificar quais polígonos compartilham arcos (ESRI, 1997).

**A-GPS** - *Assisted-GPS*

**ALBEDO** - Proporção entre a intensidade da energia refletida em relação à energia incidente (Gupta, 1991).

**AMPLITUDE** - Para ondas, é a distância vertical entre sua crista e cava.

**ANÁLISE MULTITEMPORAL** - Comparar as características de um mesmo local, em diferentes épocas e observar as modificações ocorridas.

**API** - *Application Programming Interface*

**APPs** – Aplicativos

**ARO** - Avaliação de Risco Operacional

**ARVI** - *Atmosphere Resistant Vegetation Index*

**AS** - *Anti-Spoofing*

**ASPECT** - É um *grid* que identifica a direção da maior taxa de modificação nos valores de declividade a juzante de cada célula em relação às células vizinhas, permitindo a identificação da direção do declive, este *grid* indica ainda a existência de área planas (ESRI, 1997).

**ASSINATURA ESPECTRAL** - Diferentes tipos de superfícies têm diferente resposta espectral. Em alguns casos esta resposta é tão particular que é inconfundível. A resposta espectral, quando da identificação de alvos, é chama de assinatura espectral.

**ASTER** (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* - radiômetro avançado de emissão termal e reflexão transportado em espaçonave) amostrando o visível e infra-vermelho (próximo, médio e termal), com resoluções espaciais de (15 a 90 m). É um dos instrumentos a bordo do satélite EOS AM-1.

**AVHRR** - *Advanced Very High Resolution Radiometer* - Radiômetro avançado de resolução muito alta. Sensor embarcado em um satélite de órbita polar NOAA, com um escaner multiespectral de 5 bandas (0.55 to 12.50  $\mu\text{m}$ ) e resolução espacial de 1,1 x 1,1 km..

**AVIRIS**- (*Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* - espectrômetro de imageamento do visível e infra-vermelho aero-transportado) - sensor hiperespectral desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

**ASC-II** - (*American Standard Code for Information Interchange* - código padrão americano para intercâmbio de informação). É um conjunto de códigos para representações alfa-numéricas. É um formato muito utilizado em textos, mas pode ser usado ainda como formato de troca de arquivos entre programas e sistemas diferentes.



**B**

---

**BANDAS** - Intervalo do espectro eletromagnético amostrado pelo sensor remoto.

**BANDAS DE ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA** - Intervalo do espectro eletromagnético onde a radiação é absorvida pela atmosfera ou outra substância.

**BANDEAMENTO** - *banding* ou *striping* - É um erro que ocorre se um detector do sistema, durante a leitura de varredura, fornece um valor consistentemente acima ou abaixo dos outros detectores, para a mesma banda e mesma área do terreno (Schrader e Pouncey, 1997).

**BANDING** - Ver BANDEAMENTO

**BDS** - *Berkeley Software Distribution*

**BIH1984** - *Bureau International de L'Heure*

**BSI** - *Bare Soil Index*

**BUFFER** - Operação SIG que delimita uma área de influência de largura determinada pelo usuário a partir de um ponto, arco ou polígono.

**BVLOS** - *Beyond Visual Line of Sight* ou Operação Além da Linha de Visada Visual.

**C**

---

**CAD** - *Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador - Sistema de desenho para elaboração de plantas, essencialmente vetorial, embora possa utilizar e manipular dados *raster*.

**CANAIS** - Ver **BANDAS**.

**CAR** - Cadastro Ambiental Rural

**CBERS** - *China Brazil Environmental Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de recursos terrestres). As características deste satélite estão na Tabela 4.1 e no Capítulo 4.1.

**CCD** - Câmera Imageadora de Alta Resolução - sensor embarcado no CBERS (ver Tabela 4.1 e no Capítulo 4.1).

Ver também CBERS.

**CDMA** - *Code Division Multiple Access*.

**CÓDIGO C/A** - *Coarse Acquisition* – sem restrições.

**Código P** - *Precise ou Protected* – preciso ou protegido.

**COMPOSIÇÃO FALSA-COR** - Uma imagem colorida possui três canais, RGB (*red, green, blue* - vermelho, verde, azul), nestes três canais podem ser colocadas outras bandas do espectro eletromagnético diferentes do vermelho, verde e azul. A imagem resultante será colorida, porém as cores serão diferentes das reais, por isso o nome composição falsa-cor.

**CONNECTIVIDADE** - A partir da topologia de uma base de dados, um SIG pode verificar se os arcos possuem nós em comum e assim se estão ou não em contato e partir disto traçar rotas ou caminhos.

**CONTIGUIDADE** - Ver ADJACÊNCIA.

**CORINE** - Acrônimo de *coordination on environment* ou coordenação em meio ambiente. Projeto desenvolvido pela União Européia nos anos 80. Neste livro é discutida a legenda de cobertura do solo elaborada durante o Projeto de Cobertura do Solo do CORINE.

**CORPO NEGRO** - É um corpo hipotético que absorve e irradia toda a energia incidida sobre si, a radiação de um corpo negro é isotrópica e é função apenas de sua temperatura. Este conceito é utilizado para se estudar o processo de radiação (Novo, 1989; Schrader e Pouncey, 1997).

**CTP** - *Conventional Terrestrial Pole*

**D**

---

**DATUM PLANIMÉTRICO** - Gemael (1987) define-o como um ponto da superfície terrestre escolhido como origem da triangulação geodésica e suas coordenadas, bem como o azimute de uma direção passante por ele; são obtidos por via astronômica. No Brasil, atualmente, a lei determina o uso do *datum* SIRGAS, em sua realização 2000.

**DATUM ALTIMÉTRICO OU VERTICAL** - Para a origem e referências das altitudes (em relação ao nível do mar). *Datum* de Imbituba (Sta. Catarina), para todo o Brasil à exceção do Amapá que usa o Porto de Santana e não está conectado ao resto da rede brasileira (IBGE, 1999).

**DECLIVIDADE** - Valor em graus ou porcentagem que mostra a relação entre distância e altura de um determinado trecho, ou seja a inclinação deste trecho.

**DEM** (*digital elevation model* - modelo digital de elevação) - Um tipo especial de MDT que representa digitalmente o relevo do terreno, isto é, trata-se de um modelo de terreno específico que representa digitalmente a topografia do terreno.

Schrader e Pouncey (1997) explicam que inicialmente o termo DEM foi utilizado para os dados de elevação fornecidos pelo USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Além do termo DEM, estes autores utilizam também o termo DTED (*Digital Terrain Elevation Data* - dados digitais de elevação do terreno) para os dados de elevação gerados pela DMA (*Defense Mapping Agency*, Agência de Mapeamento de defesa dos Estados Unidos).

Ver também MDT.

**DENDOGRAMA** - É a forma de representar o método hierárquico de cluster, resulta de uma análise estatística de determinados dados, em que se emprega um método quantitativo que leva a agrupamentos e à sua ordenação hierárquica ascendente. O objetivo é unificar objetos em classe ou grupos sucessivamente maiores através da utilização de alguma medida de similaridade ou de distância.

**DIGITALIZAÇÃO** - Processo de conversão do formato analógico para o digital..

Ver também **rasterização**.

Ver também **vetorialização**.

**DIGITAL NUMBER** - Ver DN.

**DIRIGÍVEIS** - É uma aeronave leve que possui uma cavidade preenchida por gases como hélio ou hidrogênio que são menos densos que o ar, o que permite seu deslocamento na vertical e para o deslocamento na horizontal são utilizadas hélices motorizadas.

**DN** (*Digital Number* ou número digital) - Valor numérico associado ao *pixel*. Pode representar a resposta espectral naquele ponto, uma cor ou outro tipo de grandeza, como altitude ou teor de um bem mineral.

**DTED** - *Digital Terrain Elevation Data* - Dados digitais de elevação do terreno. Ver também DEM

**DTM** - *Digital Terrain Model* ou Modelo digital de terreno. Ver em **MDT**.

Ver também DEM.

**DVI** - Índice de Vegetação por Diferença

**DWG** - *Drawing/ AutoDesk Drawing Interchange format* - extensão de arquivos em formato nativo do software AUTOCAD.

**DXF** - *Drawing Exchange Format*.

## **E**

---

**ELIPSOIDE** - Modelo matemático para a representação do globo terrestre. Ver Capítulo 5, Item 5.1.3. Projeções Cartográficas.

**EOS** - *Earth Observing System*

**ERSI** - *Environmental Systems Research Institute*

**ERTS** - *Earth Resources Technology Satellite* ou Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres. Considerado o primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo, lançado em 1972, levou dois instrumentos a bordo, os sensores RBV e MSS, denominado ERTS-1 ou LANDSAT-1. O programa que surgiu em meados da década de 60, posteriormente em 1975 passa a ser denominado como a série LANDSAT.

**ESA** - *European Space Agency* ou Agência Espacial Europeia.

**ESCALA** - Relação de proporção entre o real e o representado em uma carta. Na escala 1:100.000, 1 cm sobre a carta representa 100.000 cm (1.000 m) no terreno.

**ETM** - *Enhanced Thematic Mapper* ou mapeador temático avançado - Sensor embarcado no Landsat 6, que não chegou a entrar em operação.

**ETM+** - *Enhanced Thematic Mapper plus* ou mapeador temático avançado *plus* - Sensor embarcado no Landsat 7.

**EVI** - Índice de Vegetação Melhorado

**ExG** - Índice de Vegetação Excesso de Verde

## **F**

---

**FCC** - *False color composite* ou composição falsa-cor.

Ver composição falsa-cor.

**FDMA** - *Frequency Division Multiple Access* – múltiplo acesso pela divisão da frequência.

**FROM NODE** - Ou nó de origem. Conceito topológico, se o arco possui uma origem (*from node*) e um destino (*to node*) possui sentido, além de um lado esquerdo e outro direito. Ver Capítulo 11.3 - Topologia.

Ver também **to node**.

## **G**

---

**GEE** - *Google Earth Engine*

**GEOIDE** - Superfície equipotencial terrestre. Ver Capítulo 5 – 5.1.3. Projeções Cartográficas.

**GEOESTACIONÁRIO** - Satélite que possui mesma velocidade angular à da Terra, dando a ilusão de estar parado sobre uma determinada área terrestre.

**GEOPROCESSAMENTO** - É o conjunto de técnicas de processamento e análise de dados espaciais. Muitos autores substituem os termos "dados espaciais" por dados ou informações geográficas.



**GCP** - *Ground Control Point* - Ponto de controle ao solo: ponto de coordenadas de terreno conhecidas. Se presta ao georreferenciamento de informações, cartas ou imagens.

**GIS** - *Geographic Information System* ou Sistema de Informações Geográficas.

Ver **SIG**.

**GIROSCÓPIO** - É um dispositivo usado para indicar as mudanças de direção de um objeto em movimento. É muito útil como instrumento de navegação, pois ajuda a manter aviões e navios em seu curso. É um dispositivo que consiste de um rotor (componente da aeronave destinado a prover a sustentação necessária ao voo) suspenso por um suporte formado por dois círculos articulados.

**GNDVI** - Vegetação por Diferença Normalizada Verde

**GNSS** - *Global Navigation Satellite Systems* - Sistemas globais de navegação por satélites. Ver GPS.

**GPL** - *GNU General Public License* - Licença Geral Pública.

**GPS** - *Global Positioning System* - Sistema de posicionamento global - Sistema de localização baseado em satélites. Ver Capítulo 10 - GPS.

**GRID** - Grade Regular. Arquivo *raster* onde o valor numérico associado ao *pixel* não é uma cor e por si só tem significado (como a altitude em um DEM) vários autores preferem chamar este tipo de arquivo *raster* de Grid. Além disto, muitas vezes seus *pixels* são chamados de células, mas conceitualmente trata-se de um arquivo *raster*.

## **H**

---

**HAZE** - Embaçamento. Refere-se a problemas atmosféricos da imagem, que lhe conferem um aspecto embaçado. É tratado por filtros específicos, disponíveis na maioria dos programas para processamento digital de imagens.

**HÉLIOSÍNCRONO** - ou sol-síncrono - Satélite disposto em uma órbita que acompanha o movimento aparente do Sol, permite obter imagens sempre em um mesmo horário solar.

**I**

---

**i3Geo** - Interface Interativa para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento

**IAF** - Índice de Área Foliar.

**IAG** - *International Association of Geodesy* ou Associação Internacional de Geodésia.

**IDVN** - Índice normalizado de vegetação. Do Inglês NDVI - *normalized difference vegetation index* - Calculado por uma operação de bandas envolvendo o vermelho e o infravermelho próximo. Ver Capítulo 3.5.3.2. Índice de Vegetação.

**IDW** - *Inverse of Distance Weighted*

**IERS** - *International Earth Rotation and Reference Systems Service* ou Serviço Internacional de Rotação Terrestre e Sistemas de Referência.

**IKONOS** - I ou II - satélites da *Space Image*. Ver Tabela 3.2.

**IMAGENS SINTÉTICAS OU INFROGRÁFICAS** - É o resultado de uma matriz numérica com uma configuração de pixels elementares que podem ser visualizados na tela de um monitor ou impressora mediado por programas ou tratamentos digitais sem o auxílio de estruturas pré-existentes.

**IMAGENS SUBORBITAIS** - Adquiridas por meio de fotografias em formato analógico ou digital, videografia, dados LASER ou LIDAR, a partir de plataformas que não atingem a órbita da terra.

**IMU** - *Inertial Measurement Unit* - Unidade de Medição Inercial.

**INTERPOLARIDADE** - Capacidade de acesso a dados/informações, em diversos formatos digitais, por softwares SIGs distintos, havendo sistemas orientados para troca de informações.

**IRMSS** - Imageador por varredura de média resolução - sensor embarcado no CBERS (ver Tabela 3.2 e no Capítulo 4.1).

Ver também CBERS.

**IRNSS** - Sistema Regional Indiano de Navegação por Satélite

**IRS** - *Indian Remote Sensing Satellite* - Satélite de Sensoriamento Remoto Indiano.

**ISRO** - Organização de Pesquisa Espacial da Índia.

**ITR** - Imposto Territorial Rural

**IV** - Índice de vegetação. Calculado por uma operação de bandas envolvendo o vermelho e o infravermelho próximo.

## **K**

---

**KI** - Krigagem de variáveis Indicadoras ou *Indicator Kriging (IK)*

## **L**

---

**LANDSAT** - *Land Remote Sensing Satellite* - Corresponde a uma série de satélites dos Estados Unidos da América. Os mais conhecidos são o Landsat 4 (sensor MSS), Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 7 (sensor ETM+). O Landsat 6 (sensor ETM) não chegou a entrar em operação. Ver Capítulo 1. 2. Histórico e Tabela 3.2.

**LATITUDE** - Por latitude de um ponto entende-se a sua distância angular (normal) até o Equador, origem das latitudes, com valor de 0°, do qual os pontos podem estar ao Norte (latitude positiva) ou ao Sul (negativa). Os planos de referência de latitude também são chamados de paralelos.

**LCSS** - *Land Cover Classification System* - Sistema de classificação de Cobertura do Solo - desenvolvido pela FAO (*Food and Agriculture Organization* da Organização das Nações Unidas - ONU), utilizado no Projeto Africover, cobertura do solo da África (Di Gregório e Jansen 1998).

**LIDAR** - *Light Detection And Ranging* ou Detecção de Luz e Alcance

**LONGITUDE** - A longitude tem conceito análogo ao da latitude, porém a referência é o meridiano de Greenwich, com os valores para leste sendo positivos e para oeste os negativos.

**M**

---

**MDT** - Modelo digital de terreno é uma forma de representação numérica/matemática de uma característica ou fenômeno espacial ambiental. Exemplos são cartas de teores de um bem mineral ou mesmo de um contaminante. Rocha (2000) cita que o termo foi utilizado inicialmente no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) por volta de 1955 e que hoje não traduz apenas a superfície altimétrica do terreno.

Ver também DEM.

**MDE** - Modelo Digital de Elevação

**MNT** - Modelo Numérico de Terreno - ver MDT.

**MODIS** - MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER

**MOSAICO** - Montagem ou criação de uma cena única a partir de vários fragmentos que possuem apenas parte da área total.

**MSS** - *Multi spectral scanner* ou escaner multiespectral - Pode ser o sensor embarcado no Landsat 4 ou ainda o termo aplica-se a sensores que amostram o espectro eletromagnético em 4 ou mais intervalos diferentes.

**MULTITEMPORAL** - Ver análise multitemporal.

**MULTIESPECTRAL** - Ver MSS.

**N**

---

**NAVSTAR** - *Navigation System with Time and Ranging* ou Sistema de Navegação com Tempo e Alcance.

**NASA** - *National Aeronautics and Space Administration* - Agência espacial norte-americana.

**NAVIC** - *Navigation Indian Constellation*

**NDRE** - *Diferença Normalizada do Red Edge*

**NDVI** - *Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Ver IDVN.

**NDWI** - *Normalized Difference Water Index* ou Índice de Diferença Normalizada da Água

**NIR** - *Near Infra-red* - Infravermelho próximo.

**NMM** - Nível Médio dos Mares

**NRVI** - Índice de Relação da Diferença de Vegetação

## **O**

---

**OLI** - *Operational Land Imager*. O sensor OLI permite resolução espacial de 15 a 30 metros de dados multiespectrais pelo satélite LANDSAT-8 (desde 2013).

**OSGeo** - *Open Source Geospatial Foundation*

**OVERLAY**- Operação SIG que permite a obtenção de novos dados ou informações a partir da sobreposição de dados tabulares, cartas, camadas (*layers*), níveis ou planos de informação.

## **P**

---

**PANCROMÁTICA** - Normalmente, o termo banda pancromática ou pan, se refere àquela que compreende parte ou todo o visível e o infravermelho próximo em uma única banda, como 0,52 a 0,90  $\mu\text{m}$  da banda pan do Landsat 7. Esta banda é representada em tons de cinza e por isso, para alguns autores, esta representação em cinza de um intervalo que não possui verdadeiramente a cor cinza é chamada de pancromática. Assim, por exemplo, uma representação do infravermelho médio em tons de cinza é chamada de representação em pancromático por determinados autores.



**PEC** - Padrão de Exatidão Cartográfica

**PAYLOAD** - É a capacidade máxima de carga que a aeronave pode carregar. São todos os equipamentos a bordo de um VANT que não são necessários para o voo e nem para o seu controle. O seu transporte visa, exclusivamente, o cumprimento de uma missão específica.

**PDI** - Ou processamento digital de imagens. Refere-se ao conjunto das técnicas aplicadas em imagens para a obtenção dos mais variados tipos de análise e interpretação.

**PPK** - *Post-processed Kinematic*

**PRADA** - Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas

**PRECISÃO** - É o grau de concordância de uma série de medidas feitas sobre condições similares. Ainda, desvio de um conjunto de valores de sua média. Traduz-se portanto na confiabilidade da imagem em possibilitar ao usuário uma avaliação da dispersão ao se tomar posições planimétricas. Associa-se ao desvio padrão das medições. Ver também Acurácia.

**PRN** - *Pseudo-Random-Noise* – ruído falsamente aleatório.

**PRS** - Serviço Público Regulado

**PVI** - *Perpendicular Vegetation Index* - Índice de Vegetação Perpendicular.

**PIXEL** - *picture element* ou elemento de tela - As imagens de satélite são formadas por um conjunto de células dispostas lado a lado como em um tabuleiro de xadrez. Cada uma destas células é chamada de *pixel*.

Ver também resolução espacial.

**Q**

---

**QUICKBIRD** - Satélite da Digital Globe (norte-americana) cuja principal característica é sua resolução espacial de 60 cm de sua banda pancromática. Possui ainda 4 bandas multiespectrais (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo, com 2,4 m de resolução espacial).

**QZSS** - *Quase-Zenith Satellite System*

**R**

---

**RASTER** - Formato de arquivo em  $x, y, z$ , onde  $x$  e  $y$  representam a posição de um *pixel* e  $z$ , normalmente sua cor.

**RASTERIZAÇÃO** - Conversão para o formato *raster*. A escanerização de uma carta (formato analógico) resulta em um arquivo do tipo *raster*. Máquinas fotográficas digitais e escaners multiespectrais também produzem arquivos *raster*.

Ver também *Raster*.

**RAVI** - *Ratio Aquatic Vegetation Index*.

**REAMBULAÇÃO** - Por reambulação entende-se a etapa de caminhamento pela área mapeada levantando detalhes topográficos, como nome de ruas, estradas, prédios públicos e outros detalhes que não puderam ser obtidos na interpretação das imagens, para inserção destes dados no mapa final.

**RESOLUÇÃO** - Normalmente se refere ao número de linhas por colunas de uma tela ou imagem. Também é muito utilizado quando se refere a resolução espacial de imagens de sensoriamento remoto.

**RESOLUÇÃO ESPACIAL** - Dimensão do *pixel* de uma imagem ao solo.

**RESOLUÇÃO ESPECTRAL** - Intervalo do espectro eletromagnético amostrado pelo sensor remoto.

**RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA** - Amplitude de valores possíveis para o *digital number* de uma imagem de sensoriamento remoto.

**RESOLUÇÃO TEMPORAL** - Tempo necessário para que o satélite faça uma nova imagem do mesmo local na superfície terrestre.

Também chamado de tempo de revisita.

**RETA** - Responsabilidades do Explorador ou Transportador Aéreo

**RGB** - *red - green - blue* ou vermelho - verde - azul. É a forma como é composta a luz branca/visível do espectro eletromagnético. As imagens que enxergamos da realidade (visível) são compostas em RGB.

**RPAs** - *Remotely-Piloted Aircraft* ou Aeronaves Remotamente Pilotadas.

**RPAS** - *Remotely Piloted Aircraft System* ou Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas

**RTK** - *Real Time Kinematic* ou Posicionamento Cinemático em Tempo Real.

**RVI** - Índice de Relação da Vegetação.

## S

---

**SAR** - Serviço de Busca e Resgate.

**SARPAS** - Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas

**SAVI** - *Soil Adjusted Vegetation Index* - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

**SGBD** - Sistema Gerenciador de Banco de Dados

**SGI** - Sistema Geográfico de Informações. Forma alternativa de tradução do termo GIS - *Geographic Information System*. Para muitos autores, inclusive este, não é uma forma adequada de tradução.

Ver também **GIS**.

Ver também **SIG**.

**SHP** - *Shapefile* - *Shaft Horse Power*.

**SIG** - Sistema de Informação Geográfica: Podem ser definidos como Sistemas complexos que envolvem hardware, software, dados, informações e pessoal habilitado para operar o conjunto.

**SIGAR** - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

**SISANT** - Sistema de Aeronaves não Tripuladas

**SISTEMA EMBARCADO** - É um sistema completo e independente, preparado para realizar tarefas predefinidas, possuem memória, processador e interfaces de entrada e saída que desempenham uma função bem específica.

**SLOPE** - Ver **declividade**.

**SPOT** - *Système Pour l'Observation de la Terre* ou Sistema de Observação da Terra. Série de satélites franceses. Ver Capítulo 1. 2. Histórico e Tabela 3.2.

**SQL** - *Structured query language* ou linguagem estruturada de interrogação - Se refere a um padrão de linguagem de programação para recuperar informações ou gerar relatórios em bancos de dados.

**SOL-SÍNCRONO** - Ver **héliossíncrono**

**SRTM** - *Shuttle Radar Topographic Mission* ou Missão Topográfica do Radar de Embarcado.

**STRIPING** - Ver **BANDEAMENTO**

**SVG** - *Scalable Vector Graphics*

**SWI** - *Surface Waterproffing Index*

## **T**

---

**TAC** - Termo de Ajustamento de Conduta.

**Tempo de revisita** - ver resolução temporal.

**TIN** - *Triangular irregular network* ou rede irregular de triângulos. Geralmente utilizada para modelagem digital de terreno.

**TIROS-1** - *Television Infrared Observation Satellite*. Satélite meteorológico de órbita terrestre baixa.

**TIRS** - *Thermal Infrared Sensor* ou Sensor infravermelho térmico.

**TM** - *Thematic Mapper* ou mapeador temático - Sensor embarcado do Landsat 5.

**TMPA** - *TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*.

**TO NODE** - Ou nó de destino. Conceito topológico, se o arco possui uma origem (*from node*) e um destino (*to node*) possui sentido, portanto um lado esquerdo e outro direito. Ver Capítulo 11.3 - Topologia. Ver também **from node**.

**TRMM** - *Tropical Rainfall Measuring Mission*.

**TSAVI** - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Transformada.

**TST** - Temperatura Superficial Terrestre.

**TVI** - *Transformed Vegetation Index* - Índice de Vegetação Transformada

## **U**

---

**UAS** - *Unmanned Aerial System*

**USAF** - *United States Air Force*

**USGS** - *United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos.

## **V**

---

**VANTs** - Veículos Aéreos Não Tripulados.

**VARP** - *Remote Piloted Aerial Vehicle*



**VECTOR** - Vetor ou dado vetorial.

Ver **Vetorial**.

**VELOCIDADE DO CRUZEIRO** - É a velocidade ideal para um determinado percurso, em que se consegue manter a velocidade máxima e constante, é uma relação entre maior eficiência e menor consumo de combustível.

**VETOR** - Vector ou dado vetorial.

Ver **Vetorial**.

**VETORIAL** - Dado vetorial - Vector - Vetor - Dados geométricos memorizados através das coordenadas e relações dos pontos significativos destes elementos: pontos/nós ou vértices, arcos e polígonos. Estas feições também são chamados de elementares gráficos.

**VETORIALIZAÇÃO** - Ou vetorização, conversão de dados para o formato vetorial.

**VEGETATION INDEX** - Ver 3.5.3.2. - Índice de vegetação.

## **W**

---

**WAYPOINTS** - São coordenadas que identificam um ponto no espaço físico. Nas aeronaves os waypoints são marcados no mapa de navegação, os quais são a referência para traçar a trajetória onde o sistema de controle da aeronave deverá executar o guiamento e o controle para a aeronave atingir estes waypoints na ordem predeterminada pelo operador.

**WDVI** - *Weighted Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Ponderada

**WFI** - Câmera de Ampla Visada - Sensor embarcado no CBERS.

Ver também CBERS.

**WMS** - *Warehouse Management System*

**Z**

**ZERO ABSOLUTO** - Temperatura medida na escala Kelvin onde o valor 0°K (zero graus Kelvin) corresponde a -273°C e é chamado zero absoluto. Temperatura a partir da qual todos os corpos emitem radiação eletromagnética.

**ZCIT** - Zona de Convergência Inter-Tropical

## 24.1. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGRN (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) e ao PGTA (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), ambos das Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Agradecemos também ao PGGTA (Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental) da Universidade Federal de Rondonópolis, MT. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 24.2. Referências

- DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. J. M. 1998. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Environment and Natural Resources Service, GCP/RAF/287/ITA Africover - East Africa Project and Soil Resources, Management and Conservation Service. 157p. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations; Rome.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. 1997. Understanding GIS - The ARC/INFO method. Environmental Systems Research Institute Inc. John Wiley e Sons, New York. 4 ed. 526p.
- GEMAEL, C. 1987. Introdução à Geodésia Geométrica (1ª parte). Curitiba: Editora da UFPR. 304p.
- GUPTA, R. P. 1991. Remote Sensing Geology. Springer Verlag. Berlin. 356p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1999. Noções básica de Cartografia. Departamento de Cartografia. Rio de Janeiro: IBGE. Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598. n.8. 130p.

INPE. **LANDSAT**. Ano? Divisão de Geração de Imagens (DGI). Acesso em: 04/09/2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/landsat/capa-landsat>

NOVO, E. M. L. de M. 1989. Sensoriamento Remoto Princípio e Aplicações. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 309p.

ROCHA, C. H. B. 2000. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Ed. do Autor. Juiz de Fora, MG. 220p.

SCHRADER, S.; POUNCEY, R. 1997. Erdas Field Guide. Erdas Inc. 4 ed. Atlanta. 656p.





UNIEDUSUL  
EDITORIA

