César Claudio Cáceres Encina
Antonio Conceição Paranhos Filho
Dhonatan Diego Pessi
Camila Leonardo Mioto
Daniela de Sousa Franco Coimbra
Normandes Matos da Silva
Jéssica Rabito Chaves
Roberto Macedo Gamarra
Vinícius de Oliveira Ribeiro
ORGANIZADORES



Um olhar sobre a conservação do Pantanal

UNIEDUSUL
EDITORA

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
DHONATAN DIEGO PESSI
CAMILA LEONARDO MIOTO
DANIELA DE SOUSA FRANCO COIMBRA
NORMANDES MATOS DA SILVA
JÉSSICA RABITO CHAVES
ROBERTO MACEDO GAMARRA
VINÍCIUS DE OLIVEIRA RIBEIRO
Organizadores

UM OLHAR SOBRE A CONSERVAÇÃO DO PANTANAL

Maringá – Paraná
2021

2021 Uniedusul Editora

Copyright da Uniedusul Editora
Editor Chefe: Profº Me. Welington Junior Jorge
Diagramação e Edição de Arte: André Oliveira Vaz
Revisão: Alfredo Marcelo Grigio / Camila Leonardo Mioto
Helen Rezende de Figueiredo / Marco Antonio Diodato

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva
Adriana Gava
Alexandre Azenha Alves de Rezende
Alexandre Matiello
Ana Júlia Lemos Alves Pedreira
Ana Paula Romero Bacri
Andre Contin
Andrea Boari Caraciola
Antonio Luiz Miranda
Campos Antônio Valmor de
Carlos Augusto de Assis
Christine da Silva Schröeder
Cíntia Beatriz Müller
Claudia Madruga Cunha
Claudia Padovesi Fonseca
Daniela de Melo e Silva
Daniela Franco Carvalho
Dhonatan Diego Pessi
Domingos Savio Barbosa
Fabiano Augusto Petean
Fabrízio Meller da Silva
Fernanda Paulini
Francielle Amâncio Pereira
Graciela Cristine Oyamada
Hélcio de Abreu Dallari Júnior
Helena Maura Torezan Silingardi
Izaque Pereira de Souza
Jaisson Teixeira Lino
Jaqueline Marcela Villafuerte Bittencourt
Jessica da Silva Campos
Jéssica Rabito Chaves
John Edward Neira Villena
Jonas Bertholdi
Karine Rezende de Oliveira
Leonice Aparecida de Fatima Alves Pereira Mourad
Luciana Karen Calábria
Luciano Messina Pereira da Silva
Luiz Carlos Santos
Luiz F. do Vale de Almeida Guilherme
Marcelo de Macedo Brigido
Maurício José Siewerdt
Michelle Asato Junqueira
Nedilso Lauro Brugnera
Ng Haig They
Normandes Matos da Silva
Odair Neitzel
Olga Maria Coutinho Pépece
Pablo Cristini Guedes
Rafael Ademir Oliveira de Andrade
Regina Célia de Oliveira
Reinaldo Moreira Bruno
Renilda Vicenzi
Rita de Cassia Pereira Carvalho
Rivael Mateus Fabricio
Sarah Christina Caldas Oliveira
Saulo Cerqueira de Aguiar Soares
Viviane Rodrigues Alves de Moraes

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

O45 Um olhar sobre a conservação do Pantanal / Organizadores César Claudio Cáceres Encina... [et al.]. – Maringá, PR: Uniedusul, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-86010-99-2

1. Biodiversidade – Conservação – Pantanal Mato-grossense (MT e MS). 2. Meio ambiente – Conservação. 3. Sustentabilidade. I. Encina, César Claudio Cáceres. II. Paranhos Filho, Antonio Conceição. III. Pessi, Dhonatan Diego. IV. Mioto, Camila Leonardo. V. Coimbra, Daniela de Sousa Franco. VI. Silva, Normandes Matos da. VII. Chaves, Jéssica Rabito. VIII. Gamarra, Roberto Macedo. IX. Ribeiro, Vinícius de Oliveira.

CDD 333.951

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

doi: 10.51324/86010992

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

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS - FUNDECT pelo apoio com recursos para custear essa presente obra, recursos do Edital Universal 10/2015 (Processo: 59/300.164/2016, TO 095/2016; SIAFEM 25849).

Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa a Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 305013/2018-1).

Agradecemos ao apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil, concedido à pesquisadora Jéssica Rabito Chaves na modalidade de Extensão no País - EXP - SB. Processo: 373278/2021-9.

Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico a Normandes Matos da Silva (DT-2 Processo 315170/2018-2) e Projeto apoiado pelo Edital CNPq/Prev-fogo (Processo 441975/2018-6)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Também a CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado ao Dhonatan Diego Pessi, número de processo 88887.494036/2020-00. Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos a CAPES pela bolsa de doutorado de César Claudio Cáceres Encina.

Os autores agradecem ainda aos Programas de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA) e de Recursos Naturais (PPGRN), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

PREFÁCIO

O Pantanal é um ecossistema dinâmico e complexo, traduzindo-se em provocações para a ciência. Modelar e interpretar as diversas variáveis pantaneiras é a proposta do livro **Um olhar sobre a conservação do Pantanal**, contemplada de modo exímio pelos pesquisadores dessa obra. A excelência dos estudos compilados aqui, acredito eu, nascem do encantamento impelido naqueles que um dia foram tocados pelo bioma. Ao conhecer o Pantanal, é impossível não ser inundado por suas belezas cênicas, suas paisagens idílicas e seus sublimes pores do sol. Almir Sater, cantor das belezas pantaneiras, em **Terra de Sonhos**, descreve em versos musicados o coração daqueles apaixonados pelo Pantanal:

"[...] Quando o fundão do mato se amorenou
Então se ouviu o canto do zabelê
E tudo tem a ver com o pôr-do-sol [sic]
Que é quando se estende a rede em dois pé-de-pau
E a noite vem pelo Pantanal [...]"

E esse fascínio aqui está estruturado em métodos técnicos científicos. A presente obra, portanto, versa sobre os desafios da preservação do Pantanal com o auxílio de recursos tradicionais e inovadores. Este livro apresenta um extenso acervo de resultados de pesquisas desenvolvidas por um leque de especialistas com formações inter e transdisplinares. O leitor desta obra deparar-se-á com discussões que contribuem para a consolidação de competências integradoras de tecnologia e processos de gestão voltadas à sustentabilidade ambiental, necessárias no âmbito acadêmico e profissional.

Este compêndio fornece ao leitor métodos aplicados por meio de plataformas de sistemas de informações geográficas, técnicas para geoprocessamento de vetores e aplicação de produtos de sensoriamento remoto orbital. Seus capítulos são ferramentas robustas: ao integrarem aplicações à gestão ambiental do bioma, apresentam bases de dados para estudos sobre o Pantanal, políticas públicas para unidades de conversação, estratégias para monitoramento de queimadas, análises multitemporais da fragmentação florestal e índices de vegetação.

Os organizadores e autores deste livro selecionaram trabalhos norteadores para tomada de decisão e direcionamento estratégico de recursos para conservação e preservação dos serviços ecossistêmicos e belezas cênicas do Pantanal.

Como na música de Almir Sater, "tudo tem a ver com o pôr-do-sol" pantaneiro. A conservação da beleza e importância do bioma estão fundamentalmente aqui, por essa razão a leitura desta obra é essencial.

Rodrigo Martis Moreira (Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, EESC/USP)

SUMÁRIO

Introdução **8**

Capítulo 1 ..... **11**
Variabilidade da cobertura vegetal pela ação do fogo no bioma Pantanal de 2018 e 2020 com base em sensor geoestacionário
Aline Paiva Moreira
Dhonatan Diego Pessi
Layssa da Silva Costa
Eliane Guaraldo
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 2 ..... **25**
Sensoriamento remoto na análise de unidades de conservação
Jeferson Saucedo Amorim
César Claudio Cáceres Encina
Dhonatan Diego Pessi
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 3 ..... **40**
Análise de efetividade de unidade de conservação na preservação ambiental através do uso de índice de vegetação
Luciane Fernandes de Souza
César Claudio Cáceres Encina
Dhonatan Diego Pessi
Camila Leonardo Mioto
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 4 ..... **53**
Análise multitemporal do NDVI e NDWI da RPPN Paculândia e seu entorno no Pantanal Matogrossense
Rodrigo Gonçalves Hipólito
César Claudio Cáceres Encina
Dhonatan Diego Pessi
Camila Leonardo Mioto
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 5 ..... **69**
Uso de índices de sensoriamento remoto na quantificação da cobertura do solo em áreas úmidas continentais
Guilherme Hollo de Andrade
César Claudio Cáceres Encina
Anny Keli Aparecida Alves Cândido
Ana Paula Garcia Oliveira
Camila Leonardo Mioto
Dhonatan Diego Pessi
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 6 ..... **84**
Pantanal: Onde pesquisar? Fontes de consulta para a planície
Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli
Luciana Escalante Pereira
Maxwell da Rosa Oliveira

Capítulo 7 95
Índices de vegetação e análise pós-incêndio de vegetação natural em área úmida continental
Henrique Silva de Andrade
Rodrigo Martins Moreira
Dhonatan Diego Pessi
Marco Diodato
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 8 113
Análise da fragmentação florestal na bacia hidrográfica do baixo Taquari integrando métricas da paisagem e SIG
Rodrigo Martins Moreira
Sara Line Silveira Araujo
Karoline Paula Peixoto
Jéssica Lauany dos Santos Cesconetto
Gustavo Turetta Pereira
Marco Diodato

Capítulo 9 131
Python e Google Earth Engine no monitoramento de mudanças de cobertura do solo no pantanal
José Augusto Correa Martins
Dhonatan Diego Pessi
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 10 141
Uso dos índices NDVI e NDWI em análise temporal da massa vegetal da reserva particular de proteção natural Pioneira do Rio Piquiri (Pantanal-MS)
Alan dos Santos Eleutério
César Claudio Cáceres Encina
Dhonatan Diego Pessi
Antonio Conceição Paranhos Filho

Capítulo 11 161
A importância da avaliação de riscos ecológicos para as estratégias de conservação do pantanal
Domingos Sávio Barbosa
Danilo Sandro Barbosa
Camila Leonardo Mioto
Normandes Matos da Silva

INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda, de modo geral, as características relacionadas ao Pantanal, o menor bioma brasileiro (IBGE, 2019). Com aproximadamente 141.000 km², divididos entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o Pantanal ocupa, além do Brasil, parte da Bolívia e do Paraguai (Figura 1) (MIOTO et al., 2012).

Caracterizado por sua grande biodiversidade e riqueza de espécies, o Pantanal desperta especial interesse, sendo considerado uma das maiores extensões úmidas do Planeta. Por tais motivos foi declarado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 (BRASIL, 1988) e Patrimônio Natural Mundial pela UNESCO. Pesquisas registraram 263 espécies de peixes, 122 espécies de mamíferos, 93 de répteis e 656 espécies de aves (WWF, 2021) e, segundo Pott et al. (2011), a flora da região compreende aproximadamente 2.000 espécies.



Figura 1. Localização do Pantanal

Seu funcionamento é regido por dois períodos distintos: o de seca e o de cheia, sendo as espécies vegetais e animais adaptadas a essas mudanças (SANTOS, 2007). No primeiro período (entre os meses de abril a setembro), observa-se a baixa ocorrência de chuvas e a diminuição do nível de água dos rios, ocorrendo a seca de algumas das lagoas encontradas na região da Nhecolândia, conforme descrito por Oliveira (2014), por exemplo.

Já a época da cheia, que ocorre de outubro a março, é caracterizada pelo extravasamento dos rios, com influência do Rio Paraguai e de seus afluentes, que nascem na região do planalto e seguem até o Pantanal. Destaca-se que desde 2019 a planície pantaneira vem sofrendo com a seca, sendo que em 2020 o nível dos rios atingiu valores muito baixos, com a restrição do transporte em alguns pontos (MARENGO et al., 2021).

Outro agente que chama a atenção é o fato de o Pantanal ser dividido em diversos "Pantanais", reconhecidos até mesmo pelo povo que nele habita. A literatura apresenta uma variedade de sub-regiões, que podem variar de seis a 18 dependendo dos critérios e materiais utilizados para a delimitação (SILVA, 1995; MIOTO et al., 2012). Tais regiões apresentam características distintas no que se refere à vegetação, alagamento e processo de sedimentação (MIOTO et al., 2012). Destaca-se o Pantanal da Nhecolândia, citado anteriormente, onde é possível encontrar 17.631 lagoas, divididas em baías e Salinas (OLIVEIRA, 2014).

A principal atividade econômica desenvolvida é a pecuária de corte em conjunto ao turismo e, em menor escala, tem-se a pesca profissional (ROSSETTO e GIRARDI, 2012).

Algumas publicações remetem ao fato de que o Bioma Pantanal é o mais preservado (EMBRAPA, 2021; IBGE, 2021). Porém, Alho et al. (2019) trazem em seu estudo uma lista de ameaças que causam prejuízos à biodiversidade da região, como a transformação das áreas nativas em áreas destinadas à criação de gado e ao plantio de culturas exóticas, além da retirada de pequenas espécies para serem utilizadas como iscas.

Soma-se a isso as ameaças causadas pelo uso do fogo, hábito muito utilizado pelos donos de fazendas como forma de manejo (ALHO et al., 2019). Em 2019 e 2020 o mundo noticiou a devastação originada pela grande quantidade de incêndios detectados na região pantaneira, mostrando o quão sensível a área é e também a falta de planejamento e assistência em situações como essa.

Campo Grande, junho de 2021

Camila Leonardo Mioto
Antonio Conceição Paranhos Filho

REFERÊNCIAS

ALHO, C. J. R.; MAMEDE, S. B.; BENITES, M.; ANDRADE, B. S.; SEPÚLVEDA, J. J.. Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra. Ambiente & Sociedade, v. 22, p. 1-22, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/BqQNwh94qn5g9kh56FZchYj/?lang=pt. Acesso em: 09 jun. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Contando Ciência na Web. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-pantanal#:~:text=Uma%20boa%20not%C3%ADcia%20%C3%A9%20que,Mata%20Atl%C3%A2ntica%20e%20o%20Cerrado. Acesso em: 09 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases Cartográficas Contínuas. 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 08 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de Descrição BIOMAS. Biomas Continentais do Brasil. 2021. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/documentos/Sintese_Descricao_Biomas.pdf. Acesso em: 09 jun. 2021.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K. R. D.; BROEDEL, E. SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; BAIÃO, C. F. P.; ANGULO, E. C.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: characterization, causes and impacts. Frontiers in Water – Water and Hydrocomplexity, v. 3, 20 p. 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2021.639204/full#B60. Acesso em: 08 jun. 2021.

MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, v. 8, p.165-180, 2012.

OLIVEIRA, A. P. G. Contribuição à caracterização do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul – Brasil. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2014. 91 p.

POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SILVA, J. S. V. Plant diversity of the Pantanal wetland. Brazilian Journal of Biology, v. 71, n. 1, p. 265-273, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjb/a/qrzWKGGCrDybRgnghTL3X3g/?lang=en. Acesso em: 08 jun. 2021.

ROSSETTO, O. C.; GIRARDI, E. P. Dinâmica agrária e sustentabilidade socioambiental no Pantanal brasileiro. Revista NERA, v. 15, n. 21, p. 135-161. 2012. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/2115. Acesso em: 09 jun. 2021.

SILVA, J. S. V. Elementos fisiográficos para delimitação do ecossistema Pantanal: discussão e proposta. Oecologia Brasiliensis, v. 1, p. 439-458, 1995.

WWF. Espécies. 2021. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/pantanal/bioma_pantanal/especies/. Acesso em: 08 jun. 2021.

CAPÍTULO 1

VARIABILIDADE DA COBERTURA VEGETAL PELA AÇÃO DO FOGO NO BIOMA PANTANAL DE 2018 E 2020 COM BASE EM SENSOR GEOESTACIONÁRIO

ALINE PAIVA MOREIRA
Doutoranda em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS
aline.paiva@ufms.br

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

LAYSSA DA SILVA COSTA
Doutoranda em Biologia, Universidade de Hamburgo, Hamburgo, Alemanha

ELIANE GUARALDO
Doutora em Estruturas Ambientais Urbanas pela USP, Professor Associado da UFMS, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: The use of satellite allows the analysis of trends in the number of outbreaks for the different regions in periods of interest, especially for remote regions, such as the Pantanal. It is also worth mentioning that, it also allows establishing relationships between hot spots and other environmental variables, such as: temperature, climate, precipitation, land use and occupation, among others. Therefore, the objective of this study was to detect and evaluate changes in vegetation cover for the years 2018 and 2020 by mapping the points of fire occurrence and by the NDVI vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index. The vegetative reduction in the Pantanal promoted by the increase in forest fires can maximize consequences, such as changes in terrestrial flow, runoff, hydrodynamics of the basin and long-term negative impacts with respect to population water security. economic-environmental-sustainable can contribute to the preservation of the biome.

Keywords: climate changes; forest fires; GIS; environmental governance; water security.

RESUMO: O uso de satélite permite a análise de tendências nos números de focos para as diferentes regiões em períodos de interesse, especialmente para regiões remotas, como é o caso do Pantanal. Ainda cabe ressaltar que, o mesmo permite também, estabelecer relações entre os focos de calor e outras variáveis ambientais, tais como: temperatura, clima, precipitação, uso e ocupação do solo, entre outras. Portanto, o objetivo desse estudo foi detectar e avaliar as alterações da cobertura vegetal para os anos de 2018 e 2020 por meio do mapeamento dos pontos de ocorrência de fogo e pelo índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. A redução vegetativa no Pantanal promovida pelo aumento dos incêndios florestais pode maximizar consequências, como alterações no fluxo terrestre, escoamento superficial,

hidrodinâmica da bacia e impactos negativos a longo prazo no que tange à segurança hídrica populacional. Desta maneira, a ampliação das estratégias de gestão ambiental sob a perspectiva econômica-ambiental-sustentável pode contribuir para a preservação do bioma.

Palavras-chave: mudanças climáticas; incêndios florestais; GIS; governança ambiental; segurança hídrica.

INTRODUÇÃO

Um marco inicial quanto à consciência global da proteção ao meio ambiente ocorreu por meio da Conferência de Estocolmo, em 1972, quando 113 países reuniram com o objetivo de encontrar soluções que pudessem alinhar a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico em escala mundial. No ano de 1992, tal postura foi fortalecida por meio da Conferência das Nações Unidas Sobre o Ambiente e Desenvolvimento, a ECO-92, na cidade do Rio de Janeiro (FERRARI, 2016).

Esses eventos impulsionaram a temática ambiental nas mídias nacional e internacional; no entanto a caracterização da ocorrência de eventos atípicos nos biomas por matérias jornalísticas não explicitam causas e consequências dos fenômenos, tornando a informação insuficiente para contribuir com a formação de cidadãos preocupados com as questões ambientais (COSTA, 2010).

Atualmente, uma das problemáticas ambientais veiculadas expressivamente por meio da mídia jornalística nacional e internacional é o suposto aumento de focos de incêndios florestais no bioma Pantanal.

O Pantanal foi citado por *El País* na matéria “Incêndios se alastram pelas matas do Norte e Centro-Oeste e já podem ser sentidos até no céu de São Paulo” a qual traz que o Brasil vive a maior onda de queimadas dos últimos cinco anos e segundo o INPE, registraram-se 71.497 focos de incêndios entre os dias 1 de janeiro a 18 de agosto de 2019, revelando o número de 82% maior do que o mesmo período no ano anterior, quando registram 39.194 focos de incêndio (FELIPE BETIM, El País, 22/08/2019).

Diversos jornais citam o bioma:

O conservacionista Ângelo Rabelo, idealizador do Instituto Homem Pantaneiro, afirma que no ano de 2019 houve expressivo aumento de incêndios florestais no Pantanal brasileiro (GUTMAN, ABC News, 26/08/2019).

No entanto, Alvarado *et al*. (2017) descrevem que no Brasil o uso do fogo molda a composição da vegetação dos biomas, especialmente no Cerrado, devido ao acúmulo de matéria seca somado às condições climáticas.

De modo semelhante, no Pantanal, Pott (1982) relatou que o uso do fogo tem exercido um importante papel no manejo do bioma, que se faz de forma seletiva e localizada, buscando conter a expansão de espécies indesejáveis, contudo a dinâmica e estrutura dos distintos ambientes que o formam pode ser afetada, gerando consequências adversas em diferentes escalas, que vão desde a degradação ambiental local, bem como o risco para as populações rurais até contribuições ao aquecimento global.

Os incêndios também se relacionam à invasão de fronteiras agrícolas, a extração de madeira primária, á criação de gado bovino por pequenos produtores e pecuária extensiva por grandes fazendeiros (HOMMA *et. al.,* 1998). Importante ressaltar que a ação antropogênica é a grande ameaça à conservação da floresta, que repercute a nível global ao regime climático da Terra, e colabora para que as áreas com florestas nativas sejam diminuídas (XAUD, 2013).

Em função das modificações proporcionadas pelo homem para com as florestas naturais, por meio do desenvolvimento das práticas agrícolas, a cobertura florestal primária tem sido reduzida em países tropicais (FAO, 2016), enquanto a cobertura secundária tem aumentado nas últimas décadas (FAO, 2010).

A fragmentação da cobertura florestal provocada pela ação simultânea do desmatamento e fogo, associada às secas e ao aumento da temperatura decorrentes das mudanças climáticas, poderá favorecer um cenário para a ocorrência de incêndios severos nos próximos anos (JUÀREZ-OROZCO *et al*., 2017).

Cabe salientar que o papel exercido pelas florestas também abrange o ciclo hidrológico continental. Uma vez que são responsáveis pelo ciclo de água verde (D´ODORICO *et al*., 2010) que envolve serviços de retenção de sedimentos, percolação e infiltração de água nos solos, recarga de aquíferos subterrâneos e a evapotranspiração E_T (perda de água do solo (evaporação) e plantas (transpiração)).

Este último serviço ambiental corresponde a aproximadamente 60% dos fluxos de recirculação de água em ecossistemas terrestres da América do Sul (SALAZAR & NOBRE, 2010) e é responsável, por exemplo, pelo transporte de umidade das florestas da Amazônia para outros biomas, como o Cerrado e o Pantanal.

Dessa forma, visando à preservação da biodiversidade e a diminuição da degradação ambiental surge a necessidade de minimizar os incêndios florestais, mas para que isso aconteça é importante quantificar as ocorrências a fim de desenvolver ferramentas eficazes para o controle de focos no Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, que subsidie ao Comitê de Risco de Incêndio na elaboração do Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais na região.

Pesquisas sobre incêndios florestais em um panorama multidisciplinar, contribuem para a ecologia, para a química, para o manejo e também para o controle das queimadas. Para tanto, a existência de tecnologias capazes de detectar incêndios florestais, queima-

das e focos de calor através de satélites, auxiliam no processo de minimização dos efeitos catastróficos nos diferentes biomas do Brasil.

Para a determinação destas variáveis a utilização de dados advindos de sensores remotos são necessários, pois permitem o monitoramento temporal e a espacialização das ocorrências (ABDON *et al.* 2007). Por exemplo, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através de seu portal de "Monitoramento de Queimadas e Incêndios por satélite em tempo quase-real", realiza o monitoramento de focos de queimas e incêndios florestais na América do Sul, com imagens dos satélites (NOAA-12, NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18, NOAA-19, NASA, TERRA, AQUA, GOES-12, GOES-13 e MSG-2) (INPE, 2020).

Dessa forma, o uso de satélite permite a análise de tendências nos números de focos para as diferentes regiões em períodos de interesse (MOREIRA *et al*., 2021; SORIANO & PELLEGRIN, 2007), especialmente para regiões remotas, como é o caso do Pantanal. Ainda cabe ressaltar que, o mesmo permite também, estabelecer relações entre os focos de calor e outras variáveis ambientais, tais como: temperatura, clima, precipitação, uso e ocupação do solo, entre outras. Portanto, o objetivo desse estudo foi detectar e avaliar as alterações da cobertura vegetal para os anos 2018 e 2020 por meio do mapeamento dos pontos de ocorrência de fogo e pelo índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi a planície fisiográfica do Pantanal brasileiro, quantificada em 140.640 km^2 e situada em dois Estados: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de algumas porções no Paraguai e na Bolívia (MIOTO *et al.*, 2012), e a região na qual está inserida, a bacia do Alto Paraguai, entre as latitudes 15° 30’ e 22° 30’ Sul e longitudes 54° 45’ e 58° 30’ Oeste (Figura 1).

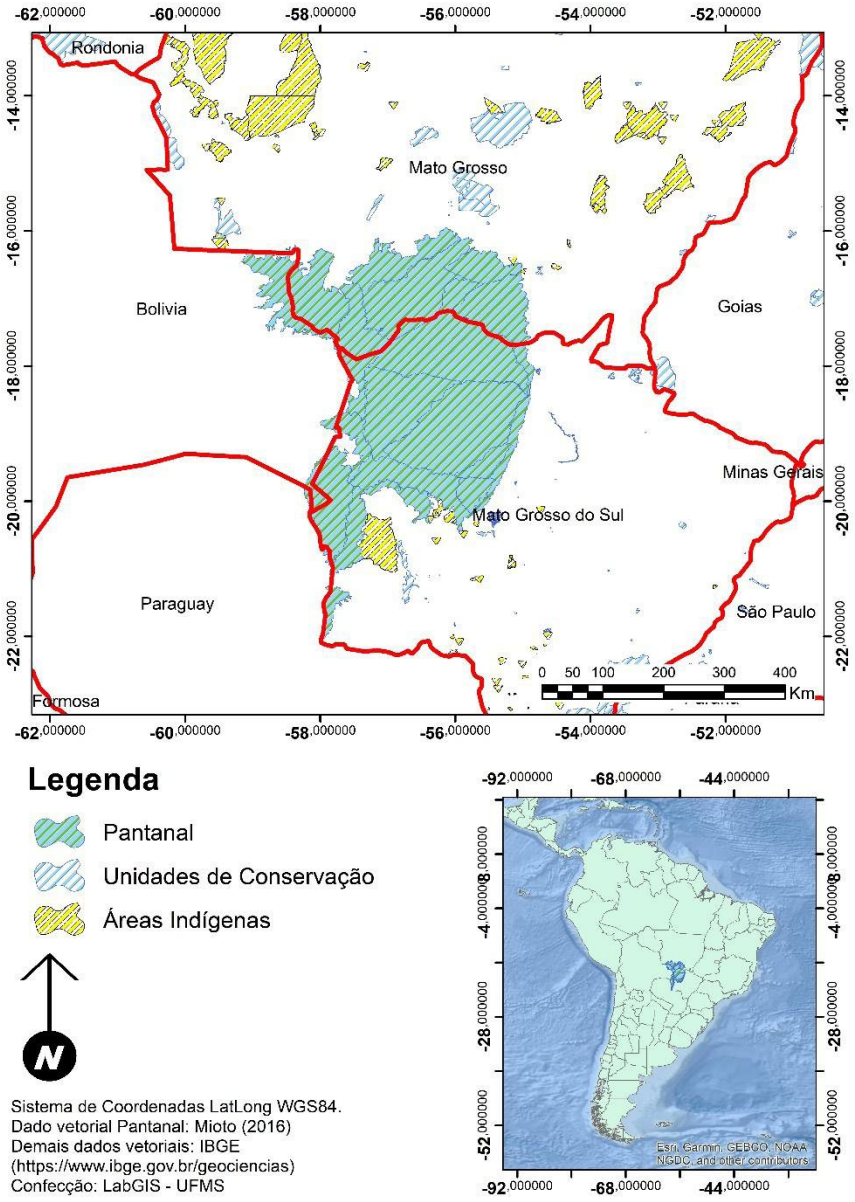


Figura 1. Localização do Pantanal distribuído pelos territórios brasileiro, boliviano e paraguaio

O clima da região é o tropical com características de continentalidade, assim a região apresenta duas estações (sazonalidade) bem definidas. O clima é marcado por precipitação anual média de 1180 mm concentrada no verão austral (SORIANO & ALVES, 2003).

A vegetação da área possui formações que variam de tipos arbóreo-densa a gramíneo lenhosa, podendo-se também encontrar regiões influenciadas pelo pulso de inundação (campos inundáveis) e as que não sofreram a influência da inundação periódica, tais como cordilheiras, capões e borda da planície (POTT & SILVA, 2016).

Distribuição dos focos de calor

O mapeamento dos focos de calor foi realizado por meio do monitoramento dos satélites de referência do INPE, NOAA-12 dos anos de 2018 e de 2020 disponibilizados no site do Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BDQueimadas – INPE, 2020) (http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/), em formato KML.

De posse dos dados obtidos pelo BDQueimadas, procedeu-se da seguinte maneira: criação do banco de dados geográfico de focos de calor, tabulação dos dados para a execução do recorte espacial da pesquisa, conversão dos dados de KML para Polígonos, sendo que todo o processamento de dados foi realizado por meio do *software* QGIS versão 3.10.0 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2021) onde os dados foram recortados utilizando os polígonos dos limites do bioma Pantanal, permitindo assim sua quantificação, espacialização e obtenção de densidade Kernel, e a geração de mapa referente aos anos de 2018 e 2020, na perspectiva de entender o comportamento dos focos de calor para a área do Pantanal.

Os mapas criados referentes aos anos de 2018 e 2020 de focos de calor foram classificados com níveis de densidades que variam de acordo com a cor e tonalidade. Essa ferramenta auxilia na identificação e comparação das áreas onde ocorreram maior quantidade de focos de incêndios florestais.

Cálculo do índice de vegetação NDVI

Posteriormente foi realizado o processo de cálculo do NDVI utilizando a ferramenta “calculadora raster” do software QGIS versão 3.10 para toda a área do Pantanal, aplicada por intermédio da Equação 1 (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

Dos quais,

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR: Refletância da banda infravermelho próximo;

R: Refletância da banda vermelha.

Posteriormente ao cálculo do índice NDVI, a imagem passa a variar entre os valores de -1 e 1, onde é observada a relação da resposta espectral da vegetação: quanto maior a proximidade ao valor máximo (1) maior a densidade e saúde da vegetação na superfície. Consequentemente, quanto maior a proximidade ao valor mínimo (-1) fica demonstrada a presença de água, solo exposto, ausência de vegetação ou vegetação em processo de degradação. A interpretação dos resultados de cálculo do NDVI foi realizada por meio de 25 amostras das cenas utilizadas, de maneira a extrair o intervalo de resposta espectral das diferentes feições observadas na imagem (água, área úmida, vegetação densa, vegetação rasteira, solo exposto).

Como observado anteriormente, a resposta da clorofila das plantas ao infravermelho próximo possibilita variados tipos de análise, como a identificação da concentração de vegetação, saúde das plantas, entre outros aspectos. Porém, não menos importante, mostra-se necessário salientar que a resposta da vegetação depende também da umidade presente na cena, de maneira que, o período em que a cena foi obtida impacta diretamente no grau de precisão das respostas espectrais encontradas na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantificação dos focos de calor, anos 2018 e 2020

Através do levantamento de dados da Base INPE/Queimadas foram identificados o quantitativo de focos de calor (FC) para o bioma Pantanal, referente aos anos de 2018 e 2020. O número total dos focos de calor detectados pelos satélites de referência do INPE foi 1.691 para o ano de 2018 e 22.116 para 2020 (Figura 2).

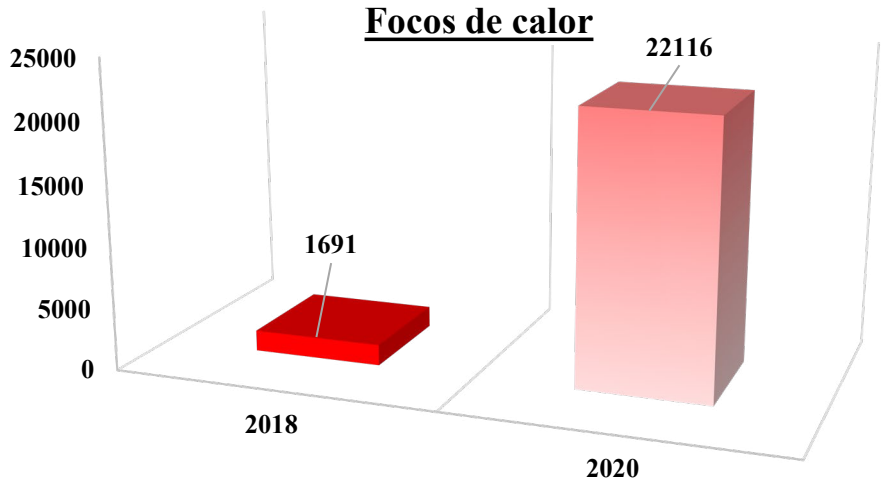


Figura 2. Comparação dos focos de calor para o bioma Pantanal referente aos anos de 2018 e 2020

Quando considerados os últimos 6 (seis) anos (Figura. 3), período entre 2015 a 2020, nota-se a discrepância entre os dados. Cabe destacar que uma das razões mais citadas para a ocorrência de tais eventos são as variações em relação ao índice de precipitação; de acordo com Moreira et al. (2021) e Oliveira-Júnior et al. (2020), o ano de 2005, dentre os últimos 20 anos foi o mais seco, no entanto, em termos quantitativos de FC não se equiparou ao ano de 2020. Desta forma, cabem discussões mais aprofundadas considerando fatores climáticos e não climáticos.

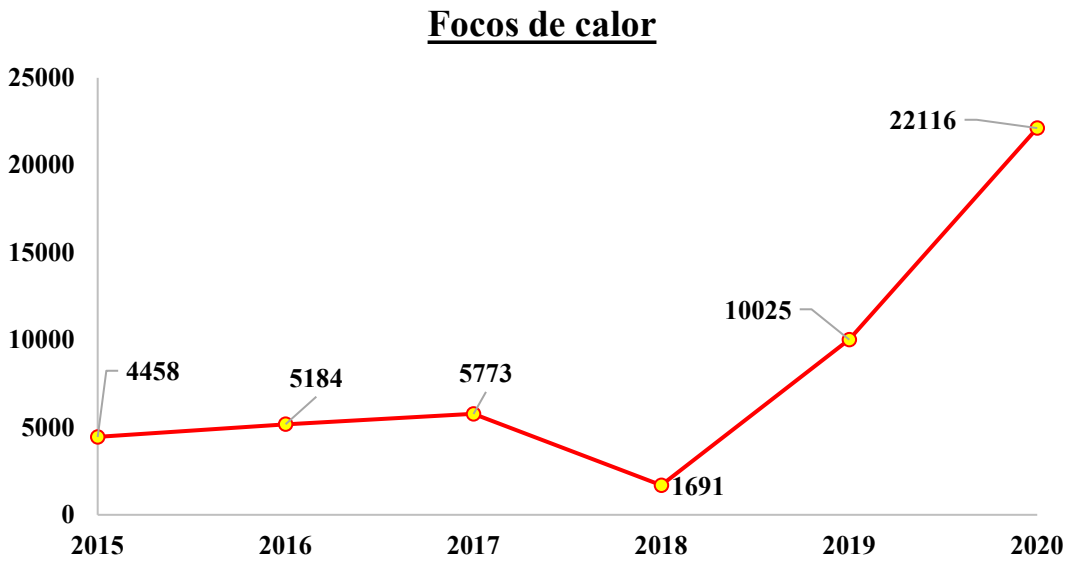


Figura 3. Focos de calor dos últimos 6 anos para o bioma Pantanal (2015-2020)

NDVI, anos 2018 e 2020

Considerando que as florestas tropicais contêm entre metade e dois terços de toda a biodiversidade dos ecossistemas terrestres, ressalta-se a importância de conhecer a variação do índice de vegetação (NDVI). Os valores variam de acordo com o vigor dos organismos vegetais da área de estudo: quanto maior a quantidade de biomassa representada por meio de tons mais escuros (verde-escuro), as regiões com predominância de vegetação rasteira são visualizadas em tons mais claros (verde-claro) e os locais visualizados em tons vermelhos (escuro) e variações representam regiões com pouca vegetação (CLERICI *et al*., 2012).

A variação está associada principalmente à dinâmica do desenvolvimento da pecuária, expansão de fronteiras agrícolas, extração de madeira primária, configurada pelo aumento de áreas de pastagens e o índice de focos de calor mais alto quando comparados os anos de 2018 e 2020.

A ação antropogênica é a grande ameaça à conservação dos ecossistemas, que repercute a nível global no regime climático da Terra e colabora para que as áreas com florestas nativas sejam diminuídas (XAUD, 2013). Além do mais, a queima da biomassa

afeta diretamente o ciclo do carbono, pois perturba a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis (PAGE *et al*., 2002).

Com os dados dos focos de incêndios disponibilizados pelo INPE (2020), foi verificado que no ano de 2018 não houve focos de calor (incêndios) detectados; em contrapartida, no ano de 2020 foram detectados 882 focos de calor no bioma Pantanal e no seu entorno (Figura 4).

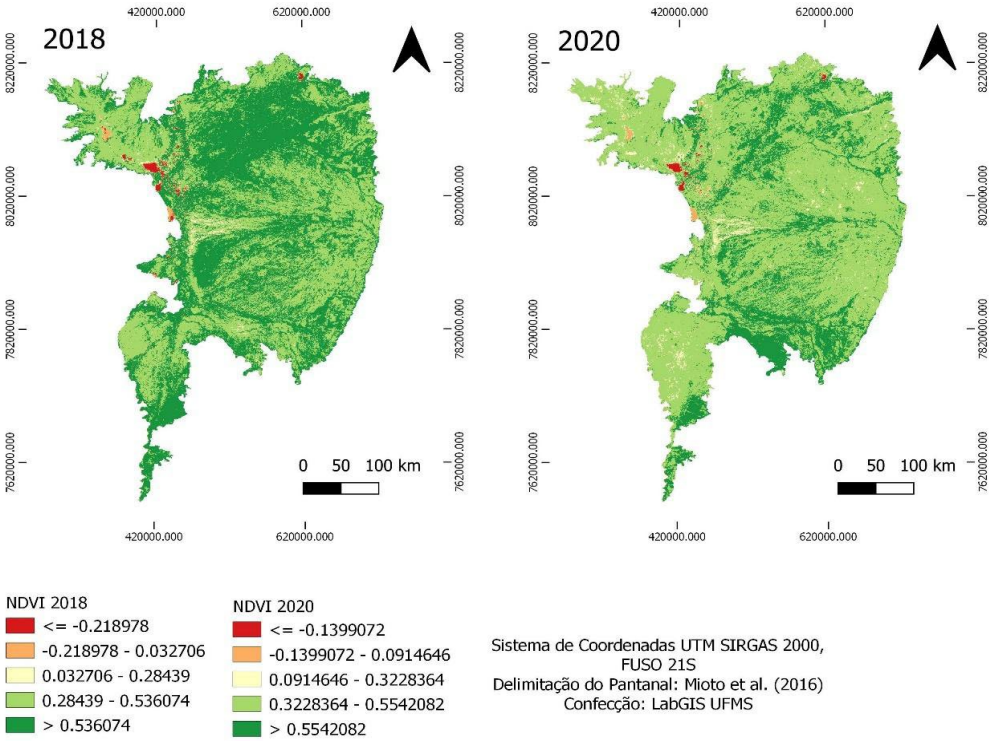


Figura 4. Mapa de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) do bioma Pantanal para os anos de 2018 e 2020

Isso pode ser identificado por meio da variação do NDVI; de acordo com Bueno *et al*. (2018) é possível identificar indicadores da qualidade do solo, tais como: fungos, bactérias aeróbicas e produtoras de celulose, em áreas de sistemas agroflorestais e em áreas de recuperação de solos degradados, revertendo os efeitos danosos provocados pelo fogo, como: baixa fertilidade, diminuição da matéria orgânica, perda da capacidade de retenção da água pelo solo, intensificando assim os processos de desertificação e erosão.

O monitoramento do índice de Vegetação (NDVI) das imagens permitiu comparar os mapas dos anos de 2018 e 2020 e apresentou-se como uma alternativa para acompanhamento de mudanças ambientais.

Em relação aos valores médios de NDVI dos anos comparados à imagem do ano de 2018, esses foram maiores do que os valores médios do ano de 2020, comprovando que durante o ano de 2018 a vegetação era mais densa, diferentemente do ano 2020. As re-

giões mais afetadas para o ano de 2020 foram as zonas fronteiriças com Paraguai e Bolívia e o centro do bioma Pantanal.

Impacto do fenômeno (Fogo) nas mudanças climáticas (a nível global)

A queima da biomassa florestal é responsável por emissões significativas de gases de efeito estufa (GEE) e aerossóis para a atmosfera, sendo o CO_2 o principal componente (IBAMA, 2016; LINDSEY, 2020). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, cerca de 58% da emissão de GEE é decorrente de queimadas e desmatamento no Brasil.

O aumento substancial de incêndios florestais tem se tornado um tópico de interesse global por seus impactos socioeconômicos, assim como para a biodiversidade. A interação entre o fogo e as mudanças climáticas, que resulta na queima da biomassa florestal, emite uma parcela significativa de gases de efeito estufa e aerossóis para a atmosfera (LIU et al., 2014).

Devido ao potencial de absorção de CO_2 pelas plantas no processo de reflorestamento, acreditava-se que o CO_2 emitido pelas queimadas não contribuía para o cenário de aquecimento global (JHONS, 2020). Mesmo que a queima de combustíveis fósseis seja a principal fonte de emissões de CO_2, um estudo recente indicou que uma média de 0,4 Pg [C]/ano, proveniente de queimadas e desmatamento, permanece na atmosfera (VAN DER WELF et al., 2017).

Uma vez que a concentração de CO_2 atmosférico atual corresponde a 415 partes por milhão (ppm) (NOAA, 2021), estima-se que tal concentração poderá atingir 970 pmm no final do século (IPCC, 2001), e que o aquecimento gerado pelo aumento de GEE, associado à alteração no regime hídrico, poderá desencadear aumento da frequência e intensidade de secas em várias regiões da América do Sul (DAI *et al*., 2018; WANDERS *et al*., 2015).

Dessa forma, a queima de biomassa também deposita partículas de fumaça na atmosfera. Além disso, estima-se que os aerossóis antropogênicos causam impactos no balanço energético do sistema terra-atmosfera. A força negativa gerada pelo potencial de absorção e espelhamento da energia solar pelos aerossóis resulta em um resfriamento da superfície (SANTOS *et al*., 2016; LIU *et al*., 2014). Por outro lado, as partículas que absorvem radiação solar formam uma camada atmosférica mais quente, estável e seca, inibindo a formação de nuvens ((NASA, 2018; Santos *et al*., 2016).

Uma análise de dados de satélite elaborada por Koren *et al*. (2004) durante o período de queimadas na Amazônia apontou que a cobertura de nuvens foi reduzida de 38% para 0% na presença de grandes quantidades de fumaça. Liu (2005) relata que os incêndios florestais do norte dos Estados Unidos em 1988 causaram uma redução substancial na formação de nuvens devido à absorção de radiação por partículas de fumaça.

Como reflexo desses fenômenos antrópicos, o efeito do enriquecimento de CO_2 atmosférico nos estômatos também foi amplamente investigado. A redução da condutância estomática e transpiração é uma resposta comum da planta ao incremento de CO_2 (MERTIN *et al*., 2019). Sabe-se que as florestas desempenham um papel importante na regulação do clima e ciclo hidrológico, no entanto a quantificação do provável impacto climático gerado por essa resposta fisiológica é complexa.

Contudo, Kooperman *et al*. (2018) usou o modelo CESM (*Community Earth System Model*) para simular o efeito do CO_2 em florestas da África, Ásia e América do Sul. O resultado sugere declínios na precipitação para as florestas da América do Sul em decorrência da transpiração reduzida. O motivo é o fato de que a Amazônia é altamente dependente da reciclagem hidrológica local, diferente das florestas da África e Ásia.

Ademais, essa resposta fisiológica reflete-se em um aumento da eficiência do uso da água pelas plantas, que poderia prevenir a perda de umidade do solo em um cenário de aquecimento global. No entanto, simulações dos modelos do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase* 5) ainda mostram aridez na camada superficial do solo, sugerindo que os impactos dominantes do CO_2 são maiores que o efeito fisiológico da planta na umidade do solo (DAI *et al*., 2018).

Presume-se então, que o aumento de GEE e o consecutivo aumento da temperatura atmosférica irá aumentar a ocorrência de eventos climáticos extremos, incluindo secas em regiões subtropicais e mediterrâneas (DAI *et al*., 2018; KOREN *et al*., 2004). Secas favorecem a ignição e disseminação das chamas. Sabe-se que os incêndios florestais são responsáveis por grandes emissões de GEE, no entanto, estudos futuros são necessários para assimilar a contribuição das queimadas para emissões líquidas de CO_2 e seus impactos nas mudanças climáticas, assim como um possível efeito circular e cumulativo que poderia agravar o quadro de incêndios.

CONCLUSÃO

No contexto da América do Sul, o Brasil é o maior responsável pelos focos de calor detectados, sendo que grande parte desses eventos ocorrem nos biomas Pantanal e Amazônia. Dessa forma, a redução vegetativa no Pantanal promovida pelo aumento dos incêndios florestais pode maximizar consequências, como alterações no fluxo terrestre, escoamento superficial, hidrodinâmica da bacia e impactos negativos a longo prazo no que tange à segurança hídrica populacional.

Sendo assim, as mudanças ambientais e o recente enfraquecimento da aplicação das legislações ambientais, até mesmo a falta de comunicação entre as políticas públicas ambientais desenvolvidas entre os países latino-americanos (Brasil, Bolívia e Paraguai) são fatores que não estão auxiliando na redução dos incêndios florestais. Desta maneira,

a ampliação das estratégias de gestão ambiental sob a perspectiva econômica-ambiental--sustentável pode contribuir para a preservação do bioma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

ABDON, M.M.; SILVA, J.S.V.; MARSELHAS e SOUZA, I.; ROMON, V.T.; RAMPAZZO, J.; FERRARI, D.L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 17-24, 2007.

ALVARADO, S.T. et al. Driver of occurrence in a mountains Brazilian Cerrado Savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. Ecological Indicators. V.78, P. 270-281, 2017.

BETIM, F. Incêndios se alastram pelas matas do Norte e Centro-Oeste e já podem ser sentidos até no céu de São Paulo**. El País**. São Paulo, 22 ago. 2019. <https://brasil.elpais.com/brasil/2019/08/19/politica/1566248656_245830.html > (Acesso em 29/10/2019).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Programa Nacional do Meio Ambiente. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP). v. 2. Brasília: MMA/ SEMAM/PNMA, 1997.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B.L.; SILVEIRA, H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S.; BUENO, R. O.; SEKINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. Acta Brasiliensis, v. 2, n. 40, 2018.

COSTA, L. As Mudanças Climáticas na pauta da mídia impressa brasileira: informação e desinformação na construção de políticas públicas para a Amazônia. Projeto de Pesquisa apresentado ao CNPq. Mineo. Maio de 2010.

CLERICI, N.; WEISSTEINER, C.J.; GERARD, F. Exploring the use of MODIS NDVI based phenology indicators for classifying forest general habitat categories. Remote Sensing, Basel, v. 4, n. 6, p. 1781-1803. 2012.

DAI, A. et al. Climate Change and Drought: a Precipitation and Evaporation Perspective. **Current Climate Change Reports**, v. 1, 10 May 2018.

D'ODORICO P.; LAIO, F.; PORPORATO A.; L. RIDOLFI, A; RINALDO, I.; RODRIGUEZ-ITURBE. "Ecohydrology of terrestrial ecosystems". ***Bioscience***, v. 60, p. 898–907, 2010.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Global Forest Resources Assessment. FAO Forestry. V. Nº 163, Rome, Italy, 2010.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Global Forest Resources Assessment. How Are the World's Forests Changing? Rome, Italy,2016.

FERRARI, A. H. De Estocolmo, 1972 a Rio+20 em 2012: o discurso ambiental e as orientações para a educação ambiental nas recomendações internacionais – Tupã: ANAP, p.71-80, 2016.

GUTMAN, M. Battling Brazil's fires with mats and water tanks: Reporter's Notebook. Revista ABC News. EUA, 26 ago. 2019. https://abcnews.go.com/International/battling-brazils-fires-mats-water-tanks-reporters-notebook/story?id=65196121. Acesso em 29 out 2019.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental? In: HOMMA, A.K.O (ed.). Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola. Brasília, EMBRAPA-SPI, p.120-141, 1998.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Mudanças-climáticas**. 2016. Disponível-em: https://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/mudancas-climaticas. Acesso em: 20 mar. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Diretoria de Pesquisas, Coordenação de agropecuária, Produção Agrícola Municipal, 2018.

INPE. **Perguntas Frequentes**: **2.7.6. O que o desmatamento de florestas tem a ver com-as-mudanças-no-clima?**. Disponível-em: http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9. Acesso em: 20 mar. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Bacos de dados de Queimadas (2020). Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: synthesis report. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 p. 2001.

JHONS, C. **Wildfires, Greenhouse Gas Emissions and Climate Change**. Future Directions-International. Australia, 2020. Disponível em: https://www.futuredirections.org.au/publication/wildfires-greenhouse-gas-emissions-and-climate-change/. Acesso em: 17 mar. 2021.

JUÀREZ-OROZCO, S. M. SIEBE, C.; FERNÀNDEZ y FERNÀNDEZ, D. Causes and Effects of Forest Fires in Tropical Rainforests: A Bibliometric Approach. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1-4, 31 Oct 2017.

KOOPERMAN, G. J. et al. Forest response to rising CO2 drives zonally asymmetric rainfall change over tropical land. **Nature Climate Change**, v. 8, p. 434–440, 27 April 2018.

KOREN, I. et al. Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. **Science**, v. 303, p. 1342, 27 February 2004.

LINDSEY, R. **Understanding Climate**: **Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide**. NOAA climat.gov. 2020. Disponível em: https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide#:~:text=The%20global%20average%20atmospheric%20carbon,least%20the%20past%20800%2C000%20years. Acesso em: 17 mar. 2021.

LIU, Y; GOODRICK, S; HEILMAN, W. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Wildfire–climate interactions. **Forest Ecology and Management**, v. 317, p. 80-96, 1 April 2014.

LIU, Y. Enhancement of the 1988 northern U.S. drought due to wildfires. **Geophysical research letters**, v. 32, p. 1-4, 20 May 2005.

MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. do A.; PARANHOS FILHO, A. C. Contribuição à caracterização das sub--regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, n.8, p.165180. 2012.

MOREIRA, A.P.; GUARALDO, E.; PARANHOS FILHO, A. C.; Mapeamento dos incêndios florestais no bioma Pantanal e Bacia do Alto Paraguai entre 2018 e 2019. Revista Ciências Ambientais, v.15, n.2, 2021.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Nasa studies untangles smoke, pollution effects on clouds. Global climate change, vital signs of the planet, 2018.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Organization **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**: **Global Monthly Mean CO2**. NOAA. 2021. Disponível em: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ff.html. Acesso em: 13 abr. 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TEODORO, P. E.; da SILVA JÚNIOR, C. A.; BAIO, F. H. R.; GAVA, R.; CAPRISTO-SILVA, G. F.; de GOIS, G.; CORREIA FILHO, L. F.; SANTIAGO, M. L. D. de B.; FREITAS, W. K.; SANTOS dos, J.; SILVA COSTA, M. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, v.282-283, 2020.

PAGE, S.E.; SIEGERT, F.; RIELEY, J.O.; BOEHM, H.D.V.; JAYA, A.; LIMIN, S. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature, v. 420, p. 61-65, 2002.

POTT, A. Pastagens das sub-regiões dos Paiaguás e da Nhecolândia do Pantanal Mato-Grossense. Corumbá: Embrapa-UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, Corumbá. p. 49. 1982.

POTT, A.; DA SILVA, J.S.V. Terrestrial and Aquatic Vegetation Diversity of the Pantanal Wetland. In: Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer International Publishing Switzerland, p.126- 146, 2016.

QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. http://www.qgis.org.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM.** 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614. Acesso em: 08 jul. 2020.

SALAZAR, L.F. & NOBRE. C. Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia. **Geophysical Research Letters**, v.37, p.17706, 2010.

SANTOS, A. C. A. et al. Análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no pantanal mato-grosso. **Química Nova**, São Paulo, v.39, n.8, Sept. 2016.

SORIANO, B.M.A.; PELLEGRIN, L.A. Monitoramento do número de focos de calor e variáveis meteorológicas observados em 2007 no Pantanal. Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 64. p.3, 2007.

SORIANO, B.M.A.; ALVES, M.J.M. Boletim agrometeorológico ano 2001 para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Corumbá: Embrapa Pantanal, v. 50, p. 28, 2003.

VAN DER WERF, G. R. et al. Global fire emissions estimates during 1997–2016. **Earth Syst. Sci. Data**, v.9, p. 697–720, 12 Sep. 2017.

WANDERS, N. et al. Global hydrological droughts in the 21st century under a changing hydrological regime. **Earth System Dynamics**, v.6, p. 1-15, 6 Jan. 2015.

XAUD, H. A. M; MARTINS, F. S. R.; SANTOS, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. Forest Ecology Management. V. 294, P. 97-106, 2013.

CAPÍTULO 2

SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

JEFERSON SAUCEDO AMORIM
Engenheiro Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS
antonio.paranhos@ufms.br

ABSTRACT: The objective of this work was to analyze the adequacy of the Conservation Unit of the Private Reserve of Natural Heritage of a good part of Fazenda Paculândia, located in Corumbá, MS, promulgated in 2002, in order to verify the protection and conservation of the environment in accordance with the relevant legislation. In order to verify the changes that occurred in the region, a multitemporal analysis of images from the Landsat series was carried out between the period of 1984 and 2015, in a total of four years analyzed. The information was obtained through geographic information systems and the normalized difference vegetation index (NDVI), used in several studies because it is an excellent indicator of the quantity and condition of green vegetation. The results obtained show the reduction of exposed soil in the area after the creation of the RPPN and the increase of dense vegetation between the analyzed period. Thus, it is concluded that there was environmental conservation in the region, as the native vegetation has been redone over the years.

Keywords: QGIS, Landsat, geoprocessing, environmental protection.

RESUMO: O objetivo deste trabalhou consistiu em analisar a adequação da Unidade de Conservação da Reserva Particular de Patrimônio Natural de boa parte da Fazenda Paculândia, localizada em Corumbá, MS, promulgada em 2002, de modo a verificar a proteção e conservação do meio ambiente de acordo com a legislação pertinente. Para verificar as mudanças ocorridas na região, realizou-se a análise multitemporal de imagens da série Landsat entre o período de 1984 e 2015, num total de quatro anos analisados. As informações foram obtidas através de sistemas de informações geográficas e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), empregado em vários estudos por ser um excelente indicador da quantidade e da condição da vegetação verde. Os resultados obtidos evidenciam a redução de solo exposto na área após a criação da RPPN e o aumento de vegetação densa entre o período analisado. Assim, conclui-se que houve conservação ambiental na região, pois a vegetação nativa se refez durante os anos.

Palavras-chave: QGIS, Landsat, geoprocessamento, proteção ambiental.

INTRODUÇÃO

O Bioma Pantanal possui a maior área contínua inundável do planeta, possuindo um dos ecossistemas mais ricos do mundo e abrigando grande quantidade de animais e vegetais em um equilíbrio ecológico. Segundo Mioto et al. (2012) esse bioma tropical ocupa área de aproximadamente 140.640 km², o que corresponde a aproximadamente 2% do território brasileiro, ocupando parte da área dos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso e pequenas partes da Bolívia e Paraguai.

Apesar de ser considerada Patrimônio Nacional pela Constituição Federal (Brasil, 1988), Patrimônio da Humanidade e Reserva da Biosfera (UNESCO, 2000), essa região vem passando por diversas modificações, as quais interferem diretamente no seu funcionamento, culminando na perda de biodiversidade. Peres et al. (2016) estimaram que entre os anos de 2000 e 2015 houve redução de 28,8% da vegetação arbóreo-arbustiva e o aumento de 11,6% de vegetação rasteira, como campos ou pastagens.

Uma das principais causas que explicam a diminuição da vegetação densa no Pantanal deve-se à implantação de pastagens, com a introdução de espécies exóticas, conforme já analisado por Paranhos Filho et al. (2014). A perda de áreas naturais do Pantanal compromete a atividade turística, além de toda a biota deste bioma.

Neste sentido, uma das formas mais reconhecidas e utilizadas para garantir a proteção de espécies e de ecossistemas são as chamadas unidades de conservação (UC). Conforme a Lei nº 9.985/2000 entende-se por unidade de conservação o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob-regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

No Art. 7 da referida lei, tem-se que as unidades de conservação integrantes do SNUC (Sistemas Nacional de Unidades de Conservação) dividem-se em dois grupos, com características específicas: Unidades de Proteção Integral e de Uso Sustentável. O primeiro grupo tem como objetivo preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais. Já o segundo grupo apresenta como objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

Uma alternativa para monitoramento de regiões extensas e de difícil acesso é a utilização de dados obtidos a partir de sensores remotos que, além de diminuírem custos e tempo requeridos para investigar uma área, permitem ainda análises multitemporais sobre áreas dinâmicas, como as do Pantanal.

Desse modo, este trabalho teve como objetivo analisar as mudanças ocorridas na cobertura do solo na Reserva Particular de Patrimônio Natural Paculândia e em seu en-

torno, através da utilização das geotecnologias, as quais são excelentes ferramentas para análises ambientais.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende a área da RPPN (Reserva Particular de Patrimônio Natural) de boa parte da Fazenda Paculândia, localizada em Corumbá, MS, Pantanal Sul-Matogrossense (Figura 1).

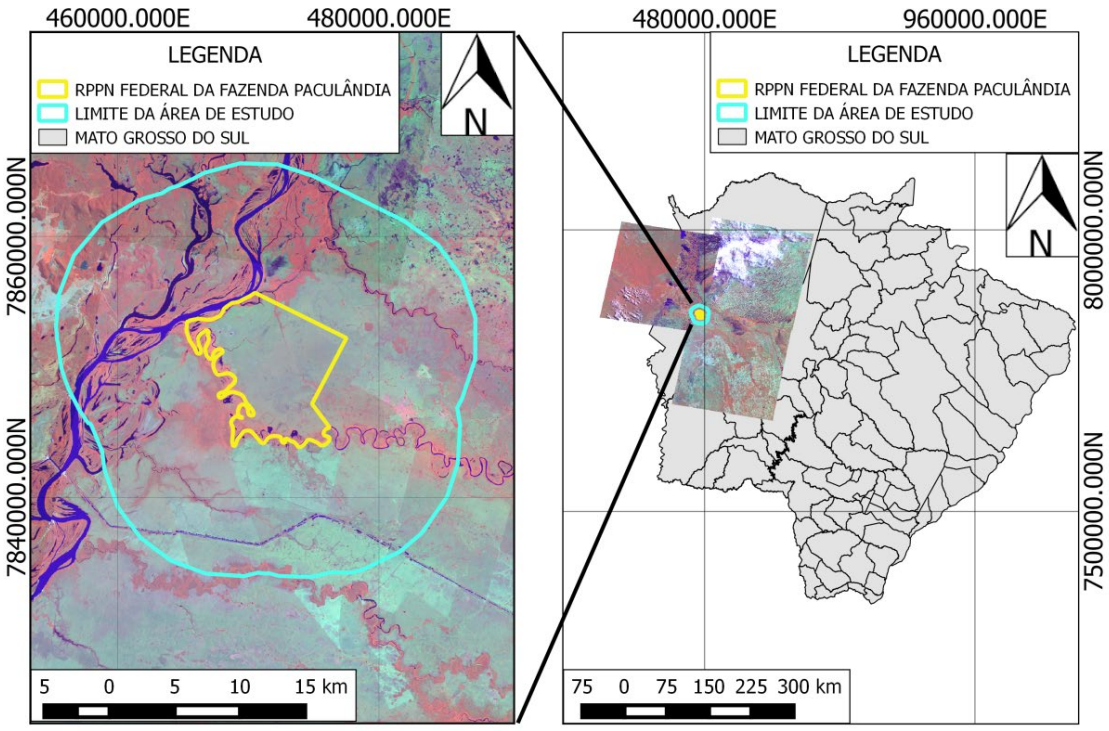


Figura 1. Localização da área de estudo, RPPN da Fazenda Paculândia (em amarelo). Em azul, tem-se a área de entorno de 10 km, a qual também foi analisada. Datum SIRGAS 2000. Fonte dos shapefiles do estado de Mato Grosso do Sul e municípios (IBGE, 2020). O arquivo vetorial da Unidade de Conservação foi adquirido no site do IMASUL (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul - http://www.imasul.ms.gov.br/). Imagem Landsat 8 (EARTH EXPLORER, USGS, 2015).

Apesar da não obrigatoriedade de zona de amortecimento em RPPN, foi analisada a área de 10 km em seu entorno, para fins de verificação da conservação ambiental próximo a sua Unidade de Conservação, ficando assim o montante estudado com uma área de 80.023 hectares.

Por ser uma RPPN, é uma área privada, gravada com perpetuidade e que tem o objetivo de conservar a diversidade biológica, por intermédio de termo de compromisso averbado à margem da inscrição no registro público de imóveis. Onde só poderá ser per-

mitida pesquisa científica e visitação com objetivos turísticos, recreativos e educacionais. O objetivo desta UC encaixa-se no de Uso Sustentável.

O Plano de Manejo da Fazenda Paculândia ainda não está disponível, sendo que de acordo com o Art. 27 da Lei 9.885/2000, as Unidades de Conservação devem dispor de um Plano de Manejo com um prazo de 5 anos após sua publicação (BRASIL, 2000).

Processamento de dados

Para a realização deste estudo, foram utilizadas imagens da série Landsat dos anos de 1984, 1995, 2000 e 2015. É interessante destacar que para cobrir a área de estudo são necessárias duas cenas Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) (órbitas-pontos 226/074 e 227/073) e apenas uma cena Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*).

Para melhor observar a região, analisaram-se imagens do período de estiagem (setembro e outubro). Por não haver imagens disponíveis sem cobertura de nuvens do ano de 2015, optou-se por utilizar uma cena do mês de abril. Portanto, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, das seguintes órbitas/pontos: 226/74 (INPE, 1984a) e 227/73 (INPE, 1984b); 226/73 (INPE, 1995a); 226/74 (INPE, 1995b) e 227/73 (INPE, 1995c); 226/73 (INPE, 2000a); 226/74 (INPE, 2000b) e 227/73 (INPE, 2000c).

E, por fim, uma imagem do Landsat 8, sensor OLI, órbita/ponto 227/73 de 2015 (Earth Explorer, USGS, 2015).

Como auxílio para a interpretação das classes, foi empregado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), por ser um bom indicador da quantidade e da condição da vegetação verde. Esse índice tem sido amplamente utilizado por proporcionar um forte sinal da vegetação e oferecer um bom contraste com outros objetos da superfície terrestre (Tucker & Sellers, 1986). Tal índice é obtido pela Equação 1.

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V) \quad (1)$$

Onde IVP = Banda do infravermelho próximo; V = Banda do vermelho.

Seus valores para um dado pixel variam entre -1 a 1, que correspondem às características de estresse hídrico (próximo a -1) a uma vegetação exuberante (próximo a +1), valores próximos a 0 seriam de solo exposto (JENSEN, 2009). A partir desse índice espera-se obter resultados numéricos comparativos ao longo dos anos estudados.

O primeiro procedimento realizado foi a união das bandas que compõem as imagens em um único arquivo. Em seguida, realizou-se o georreferenciamento das imagens do Landsat 5, sensor TM. Posteriormente, as imagens passaram pelo processo de correção atmosférica, já que a presença da atmosfera faz com que o índice de vegetação NDVI seja subestimado, proporcionando diferenciação menor entre os valores do NDVI das diversas classes de cobertura existentes na imagem.

O tratamento das imagens e a correção atmosférica das Landsat 5 foram realizados no *software* Geomatica Focus (PCI, 2009). Já a correção atmosférica da imagem Landsat 8, sensor OLI, foi realizada no *software* QGIS 2.12 (QGIS Development Team, 2015), assim como todos os demais processamentos e extração de informações das imagens.

Para a obtenção dos valores máximo e mínimo de NDVI da cobertura do solo, foram recortadas 10 amostras de cada classe de cobertura. As imagens foram fotointerpretadas na composição falsa-cor RGB 456 (imagens Landsat 5) e RGB 564 (imagens Landsat 8). Após a obtenção dos valores, foi realizada a reclassificação do NDVI através da calculadora raster no QGIS 2.12 (QGIS Development Team, 2015).

Para Bossle (2015), a calculadora raster é uma das melhores ferramentas para a manipulação de arquivos matriciais. Uma camada raster é formada por pixel que possui um valor numérico, sendo possível realizar cálculos entre diversas e diferentes camadas.

Para calcular a porcentagem das classes de cobertura do solo entre os diversos anos de estudo, realizou-se a poligonização (transformação de raster para vetor) dos arquivos raster reclassificados. A poligonização divide a região em diversos pixels. Sabendo que se trabalhou com a resolução espacial de 30 x 30 m, então cada pixel corresponde à área de 900 m².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área de estudo foram encontradas sete classes de cobertura do solo: rios e lagoas; solo exposto; pastagem baixa; pastagem alta; área úmida; vegetação arbustiva e a vegetação densa. A Tabela 1 demonstra os valores de NDVI obtidos de cada classe e que foram utilizados para reclassificar os índices.

Tabela 1. Valores obtidos na região entre as classes estudadas na região

CLASSE	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
Rios e Lagoas	-0,0100	-1,0000
Solo Exposto	0,5000	0,0000
Pastagem Baixa	0,6400	0,5001
Área Úmida	0,6900	0,6401
Pastagem Alta	0,7339	0,6901
Vegetação Arbustiva	0,7699	0,7340
Vegetação Densa	0,7700	1,0000

A imagem mais antiga analisada neste trabalho é datada de 1984 (Figura 2). Analisou-se essa imagem, pois é a primeira imagem Landsat 5, sensor TM, disponível da área de estudo. Na Figura 3 apresenta-se a reclassificação do NDVI da imagem de 1984.

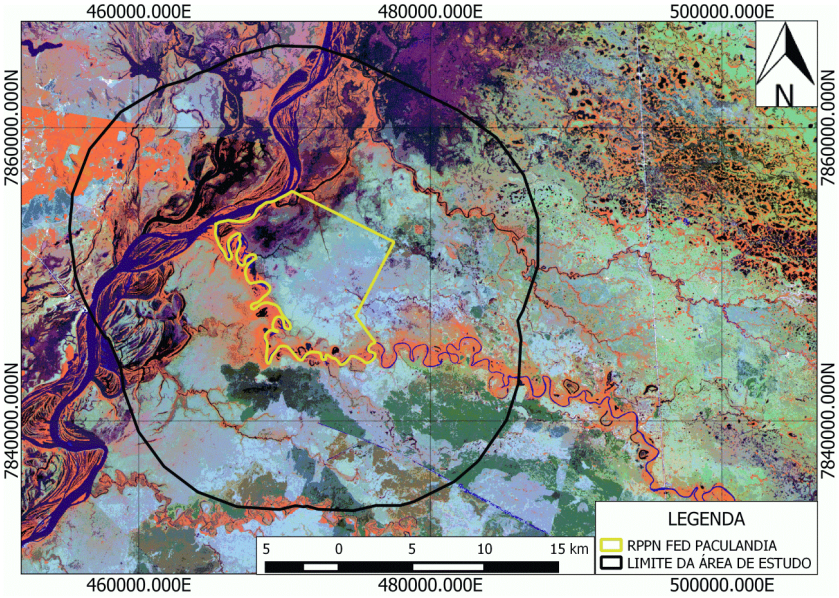


Figura 2. Mosaico de imagens LANDSAT 5, TM, de 1984 (1984 a, b) na composição falsa-cor R4G5B3 da região da RPPN da Fazenda Paculândia (limite em amarelo)

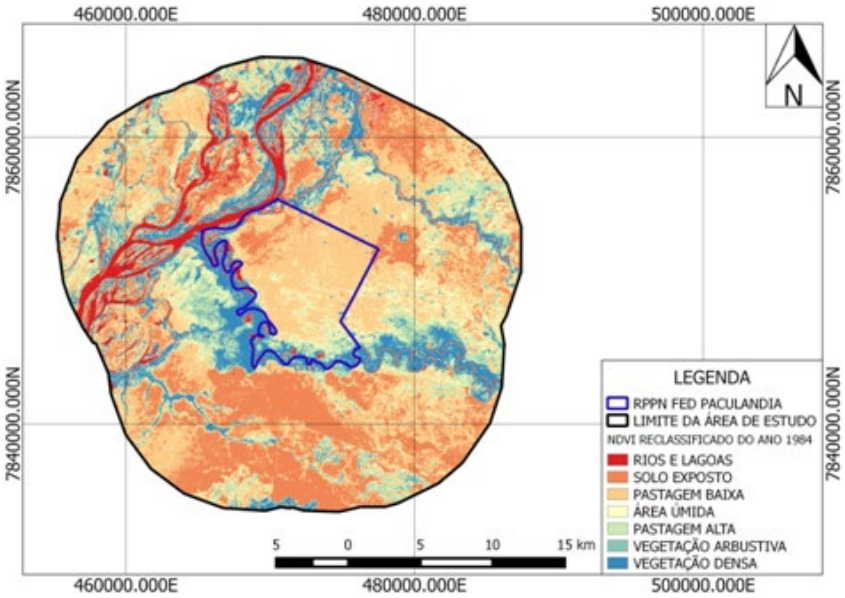


Figura 3. Mosaico de imagens TM/LANDSAT 5 de 1984 NDVI - Reclassificado

Analisando a imagem, é possível perceber a antropização dentro da área de entorno da RPPN, através das cicatrizes de incêndio. Essas cicatrizes são observadas no inferior da imagem, nítido na Figura 4.

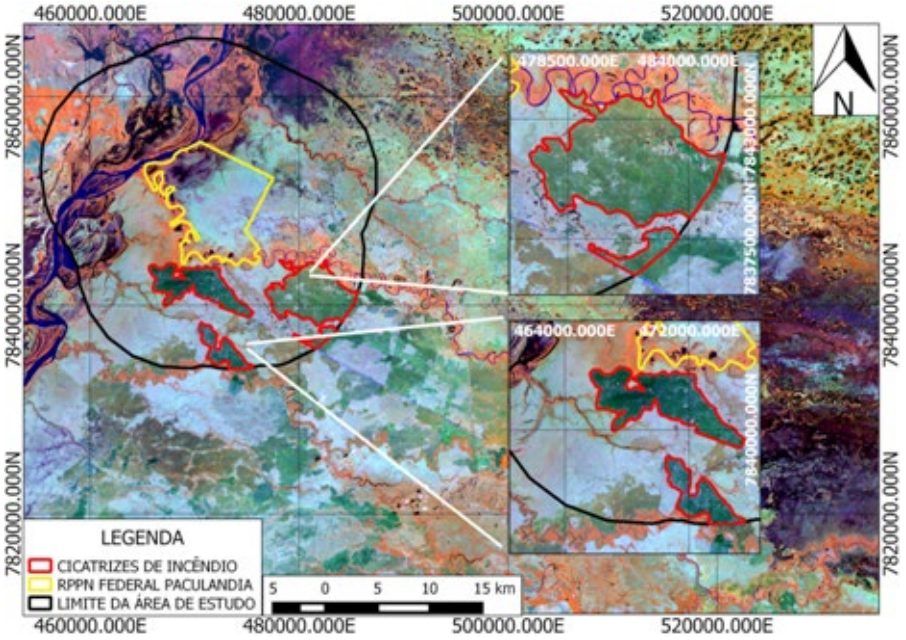


Figura 4. Mosaico com imagens do ano de 1984, evidenciando cicatrizes de incêndio (limitadas em vermelho) nas proximidades da RPPN Fazenda Paculândia

Na imagem do ano de 1995, 11 anos após a primeira data analisada, verifica-se que a situação da região em relação à vegetação densa tem uma melhora visível, mesmo depois de um longo período registrado de ação antrópica na região, alterando as características ambientais da área (Figura 5). Destaca-se que nesse período, houve a construção da BR-262, a qual pode ser observada na imagem. Apesar disso, verificou-se nesse ano, que a vegetação se recompôs, pois no ano de 1984 o percentual de solo exposto é maior (13,3% em 1984 e 8,31% em 1995).

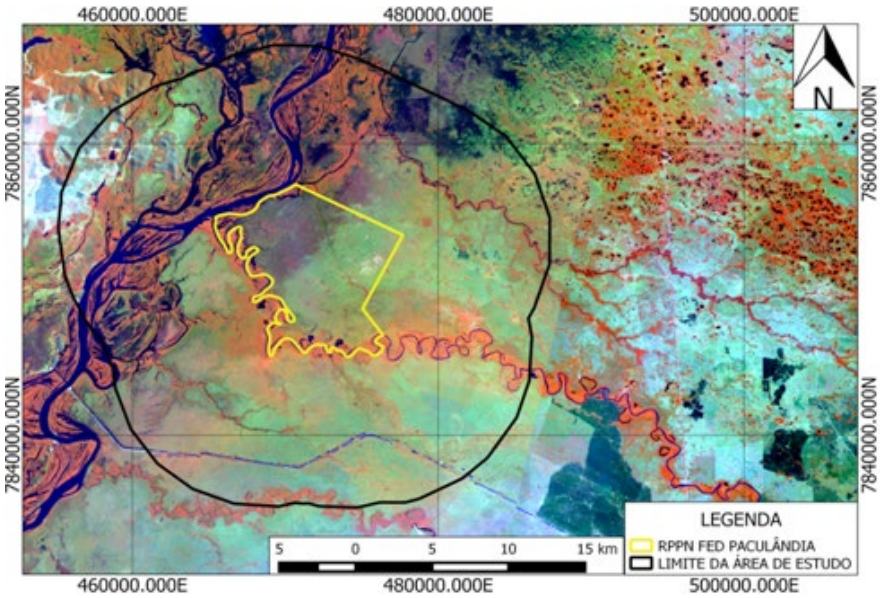


Figura 5. Mosaico de imagens TM/LANDSAT 5 de 1995, composição falsa cor R4G5B3

Na Figura 6 visualiza-se o NDVI reclassificado, salientando a vegetação na região do proposto trabalho.

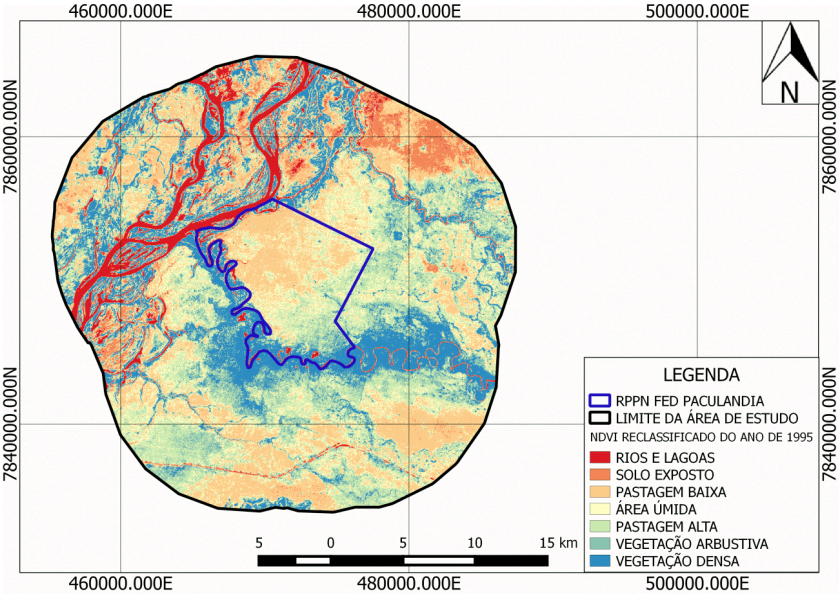


Figura 6. Mosaico de imagens TM/LANDSAT 5 de 1995 NDVI - Reclassificada

No ano 2000, dois anos antes da criação da RPPN Federal Paculândia e a última data até a sua promulgação, o intenso avanço da antropização da região é clara, nítida na imagem Landsat (Figura 7) e salientada na reclassificação do NDVI (Figura 8), o qual apresenta níveis de coloração intenso de laranja escuro, cor que representa a classe de solo exposto.

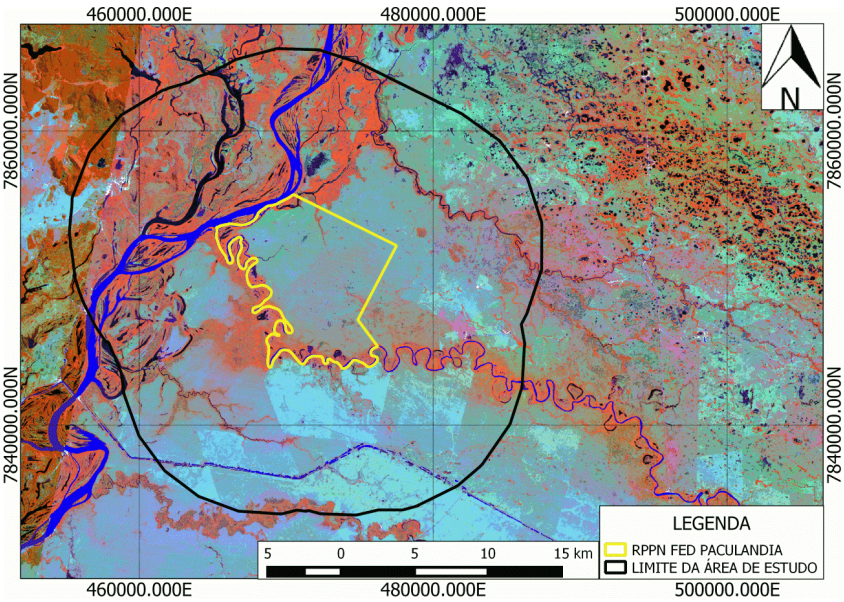


Figura 7. Mosaico de imagens TM/LANDSAT 5 de 2000, composição falsa cor R4G5B3

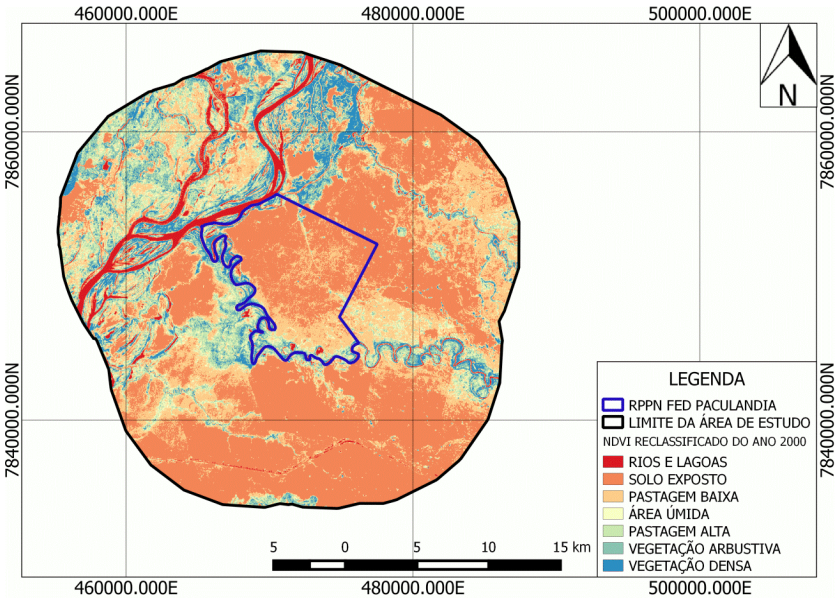


Figura 8. Mosaico de imagens TM/LANDSAT 5 de 2000 NDVI-Reclassificada

A imagem do último ano estudado é a principal data, pois são 13 anos após a criação da Unidade de Conservação RPPN Fazenda Paculândia, sendo o objetivo desse estudo analisar a proteção e conservação desta área. Na Figura 9 tem-se a imagem Landsat 8/OLI do referido ano e na Figura 10 o NDVI reclassificado.

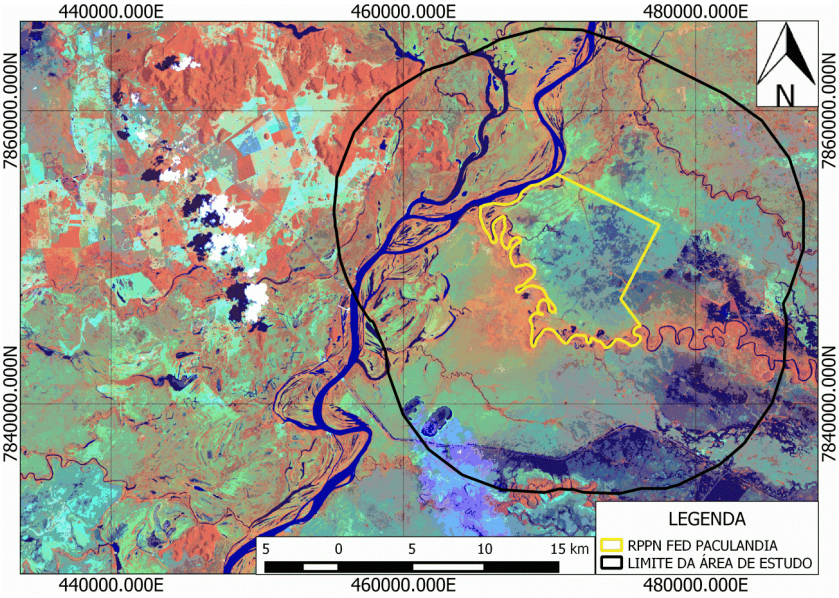


Figura 9. Mosaico de imagens OLI/LANDSAT 8 de 2015, composição falsa cor R5G6B4

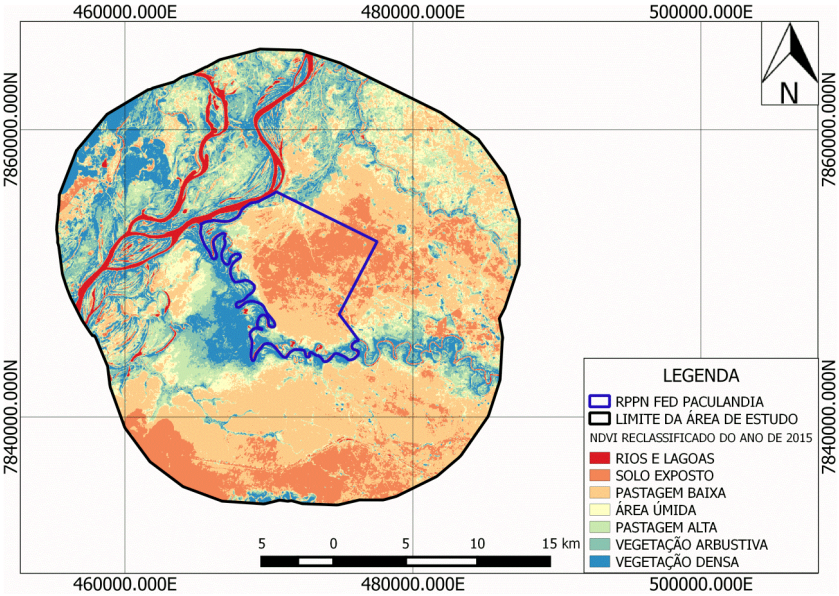


Figura 10. Imagem OLI/LANDSAT 8 do ano de 2015 NDVI-Reclassificada

Analisando-se tais dados, nota-se a recomposição da vegetação, com o aumento da vegetação densa, com visualização bem evidente, apesar de que na mesma imagem é observado incêndio na região de estudo e uma frente de fogo (Figura 11).

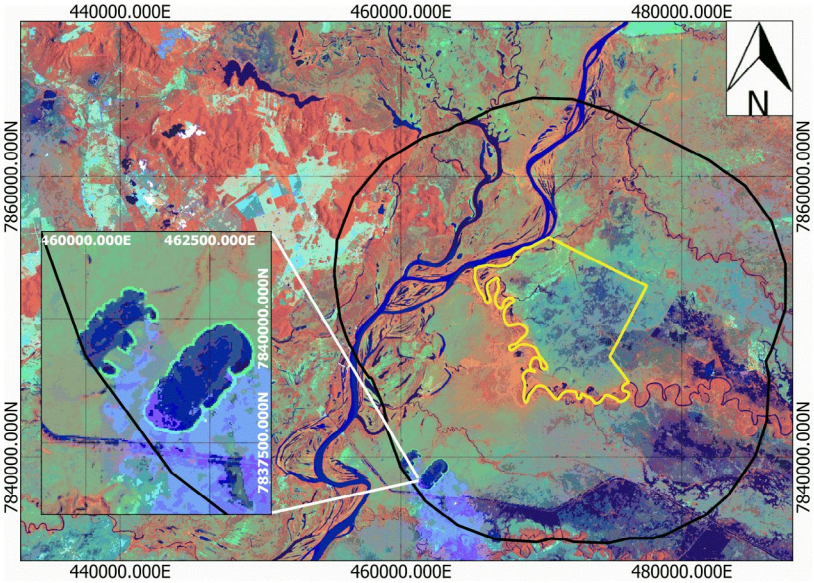


Figura 11. Zoom na frente de fogo da imagem RGB OLI/Landsat 8 de 2015

Na Tabela 2 têm-se as informações sobre a porcentagem de cada classe de cobertura encontradas em cada um dos anos de estudo.

*Tabela 2. Comparação entre as **áreas** dos anos em estudo, **área** em percentual*

	ANOS			
CLASSES	1984	1995	2000	2015
Rios e Lagoas	2,18%	1,64%	1,18%	1,23%
Solo Exposto	13,3%	8,31%	28,86%	9,99%
Pastagem Baixa	18,11%	14,89%	16,33%	14,9%
Área Úmida	24,69%	25,15%	17,24%	24,11%
Pastagem Alta	20,33%	22,46%	15,84%	24,03%
Vegetação Arbustiva	16,47%	21,49%	16,12%	19,24%
Vegetação Densa	4,91%	6,04%	4,43%	6,49%

Foi constatado nos dados comparativos do índice de vegetação reclassificado que no ano de 1984 a região passou por intensa exploração, devastando sua vegetação original. Antes mesmo dessa data já era possível notar que o homem já estava povoando essa região pantaneira, abrindo caminho na vegetação nativa e desmantando, assim, boa parte da região. São visualizadas cicatrizes de incêndio na área, provando tal afirmação. Nesta data ainda não existia a rodovia, BR-262, que é visualizada no ano de 1995, onde a vegetação se mostra recomposta entre os anos estudados, verificando-se a melhor fase da vegetação no local.

O ano de 2000 tem-se a pior situação da vegetação na zona de estudo. Nesse período, a área foi bastante antropizada em comparação com a imagem de 1995 estudada. Dois anos após, foi criada a RPPN Federal Paculândia.

Passando-se 13 anos até a próxima data de estudo, o que se percebe é que a região se recompôs novamente, obtendo o maior percentual de vegetação densa, apesar de o local apresentar área de incêndio.

Na Figura 12 se mostra a relação de solo exposto e vegetação densa entre os anos de estudo, em percentual.

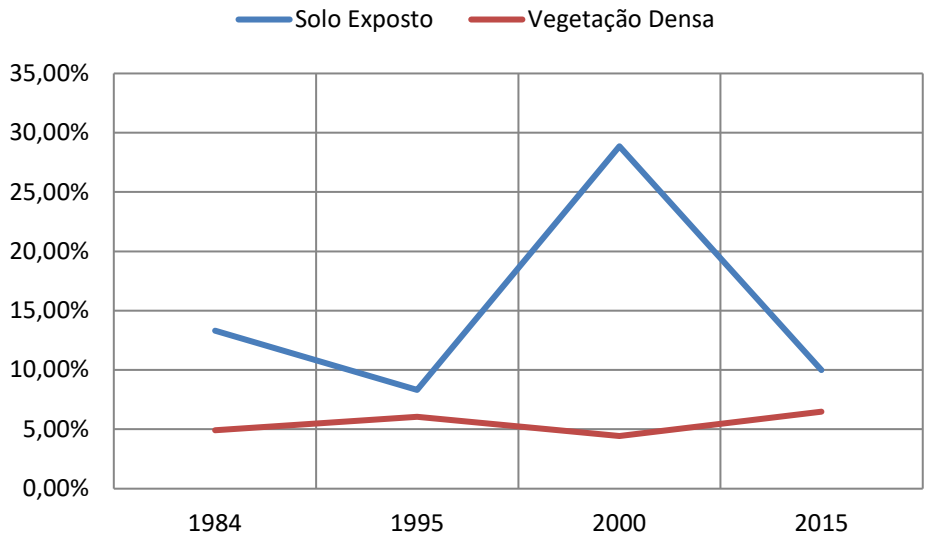


Figura 12. Gráfico em linha com a comparação de 2 classes de vegetação na zona de estudo entre os anos estudados

Em relação ao solo exposto, geraram-se dados que demonstram grande queda da sua área após a criação da RPPN Federal Paculândia. Entre os anos 2000 e 2015 tem-se queda de 18,87% no percentual de solo exposto na área, comprovando conservação ambiental na região.

A quantificação desses dados resultou em informações expressivas, pois a área total de estudo corresponde a aproximadamente 80.024 hectares, diminuindo 18,87% de solo exposto, resultando em uma área de 15.100,52 hectares que foram transformadas em outras classes de vegetação.

Em relação à vegetação densa observou-se o aumento de 2,06%, dado pouco expressivo, pois levando em consideração 13 anos de criação da RPPN, tem-se apenas o montante de aproximadamente 1.648 hectares. É uma pequena porção nessa imensa área analisada, porém, lembrando-se da dificuldade do ambiente em se recompor, é extremamente relevante, visto que o ambiente leva um espaço de tempo considerável para uma melhora efetiva.

Os percentuais das classes de cobertura demonstram melhorias nas classes de área úmida da região. Entretanto, pelo fato da imagem de 2015 ser datada de um período diferente dos outros anos estudados, verificou-se que a precisão da informação de melhora das condições em relação a área úmida seria menor, isso em relação as outras classes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos apresentam relevância, demonstrando dados quantitativos das classes de cobertura do solo contidas na área da RPPN Fazenda Paculândia, provando que a região estava em uma situação desejável antes da criação da unidade, com alta influência humana e grave alteração no estado da vegetação nativa.

Após 13 anos de vigência da unidade de conservação constata-se clara melhora, visto que a região se recompôs com o tempo, com aumento da vegetação densa de aproximadamente 2% e diminuição do solo exposto. Desse modo, a proposta da RPPN neste local contribuiu para preservação e conservação do ambiente.

Ressalta-se a viabilidade do uso das geotecnologias no monitoramento de unidades de conservação, pois foi quantificando o estado e a melhoria da região de abrangência do estudo, tornando-se um instrumento de apoio na verificação da conservação do ambiente promovido publicamente e protegido por lei.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos a CAPES pela bolsa de doutorado de César Claudio Cáceres Encina.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

BOSSLE, R.C. QGIS e Geoprocessamento na Prática. São José dos Pinhais: Edição do Autor, 225 p., 2015.

BRASIL. Constituição 1988. Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985 de 18 de Julho de 2000. “Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências”. Data da legislação: 18/07/2000 – Publicação no Diário Oficial da União: 08/07/2000.

EARTH EXPLORER, USGS (United States Geological Survey). Imagens Landsat 8. Órbita 227, ponto 073. Data de Passagem 25/04/2015. Disponível em: http:// earthexplorer.usgs.gov/. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads. Acesso em: 28 de fevereiro de 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 226, ponto 074. Data de Passagem 02/09/1984. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 1984 a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 227, ponto 073. Data de Passagem 18/09/1984. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 1984 b.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 226, ponto 073. Data de Passagem 07/09/1995. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 1995 a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 226, ponto 074. Data de Passagem 07/09/1995. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 1995 b.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 227, ponto 073. Data de Passagem 23/09/1995. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 1995 c.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 226, ponto 073. Data de Passagem 30/09/2000. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 2000 a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 226, ponto 074. Data de Passagem 30/09/2000. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 2000 b.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens Landsat 5. Órbita 227, ponto 073. Data de Passagem 21/09/2000. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. 2000 c.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 604 p., 2009.

MIOTO, C.L.; PARANHOS FILHO, A.C.; ALBREZ, E.A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

PARANHOS FILHO, A.C.; MOREIRA, E.S.; OLIVEIRA, A.K.M.; PAGOTTO, T.C.S., MIOTO, C.L. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, n. 19, volume especial, p. 69-76, 2014.

PERES, P. N.; MIOTO, C. L.; MARCATO JUNIOR, J.; PARANHOS FILHO, A. C. Variação da cobertura do solo no Pantanal de 2000 a 2015 por sensoriamento remoto com software e dados gratuitos. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso), v. 39, n. 2, p. 116-123, 2016.

PCI GEOMATICS. Geomatica version 10.2 for Windows. Ontário - Canadá. CD-ROM. 2009.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. Versão 2.12. Lyon, 2015.

TUCKER, C.J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE EFETIVIDADE DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS DO USO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

LUCIANE FERNANDES DE SOUZA
Engenheira Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS
fernandesslucianee@gmail.com

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

CAMILA LEONARDO MIOTO
Doutora em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: The creation of conservation units in the Pantanal is extremely important in preserving the biodiversity of this biome, given the growing development of economic activities with the exploration and deforestation of natural areas. In this context, the Jubran Private Natural Heritage Reserve (RPPN) was created, located in the rural area of the Municipality of Cáceres, MT, in order to preserve the area and avoid deforestation to open cultivated pastures (GOVERNMENT OF THE STATE OF MATO GROSSO, 2017). Thus, the present work evaluated the effectiveness of the environmental preservation of PRRN Jubran, through the analysis of the vegetation cover of the reserve and its surroundings during the dry season in the periods prior to the creation of the conservation unit and after fifteen years of creation. The methodology used for this study included the calculation of the normalized difference vegetation index (NDVI). Landsat 5, TM sensor, and Landsat 8, OLI sensor images, dated September 24, 2001 and October 6, 2017, respectively, were used. The conclusive process led to the assertion that the creation of the RPPN Jubran was able to promote the recovery of the conservation unit area, once the increase in phytomass in the generated image was observed, being effective in the environmental preservation of the Pantanal biome.

Keywords: NDVI, wetlands, Pantanal, vegetal cover

RESUMO: A criação das unidades de conservação no Pantanal é de extrema importância na preservação da biodiversidade desse bioma, visto o crescente desenvolvimento de atividades econômicas com a exploração e o desmatamento de áreas naturais. Nesse contexto, criou-se a Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Jubran, situada na zona rural do Município de Cáceres, MT, a fim de preservar a área e evitar o desmatamento para abertura de pastagens cultivadas (GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO, 2017). Assim,

o presente trabalho avaliou a efetividade da preservação ambiental da PRRN Jubran, por meio da análise da cobertura vegetal da reserva e de seu entorno durante a estação seca nos períodos anterior à criação da unidade de conservação e após quinze anos de criação. A metodologia utilizada para tal estudo contou com o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Foram utilizadas imagens Landsat 5, sensor TM, e Landsat 8, sensor OLI, datadas de 24 de setembro de 2001 e de 06 de outubro de 2017, respectivamente. O processo conclusivo levou à afirmação de que a criação da RPPN Jubran foi capaz de promover a recuperação da área da unidade de conservação, uma vez observado o aumento de fitomassa na imagem gerada, sendo eficaz na preservação ambiental do bioma Pantanal.

Palavras-chave: NDVI, áreas úmidas, Pantanal, cobertura vegetal

INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento econômico da pecuária e agricultura no Brasil, observa-se o aumento da demanda por áreas para que essas atividades sejam praticadas de maneira extensiva a fim de proporcionar maior lucratividade. Entretanto, a facilidade de abertura dessas áreas leva ao uso indiscriminado do solo, por meio de práticas de manejo arcaicas, que prejudicam o solo e o tornam cada vez mais empobrecido.

O Pantanal é considerado o bioma de maior extensão úmida contínua do planeta, sendo decretado Patrimônio Nacional pela Constituição Federal (BRASIL, 1988), de modo que manter a conservação da área é de extrema importância para garantir a sua biodiversidade. Apesar desse fato, o avanço das atividades agropastoris praticadas no Pantanal vem provocando o desmatamento e a degradação desse bioma, de maneira que o monitoramento da sua extensão se torna essencial para subsidiar ações de recuperação e preservação do território pantaneiro.

De acordo com o relatório das regiões de planejamento do Estado de Mato Grosso, Cáceres, situado dentro do bioma Pantanal, é o município que apresentou maior área desmatada dentre os municípios que compõem a região, com desflorestamento de 15,37% de sua área até o ano de 2015 (MATO GROSSO, 2017). Dessa forma, faz-se necessário o estabelecimento de unidades de conservação neste estado, visando a recuperação de áreas exploradas anteriormente, bem como a preservação da vegetação natural inalterada, a fim de evitar a grandes danos ao bioma.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, uma das categorias de Unidades de Conservação são as Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN), áreas privadas de uso sustentável declaradas pelo proprietário de cada área (BRASIL, 2012). A partir da declaração, o local é sujeito ao parecer do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e recursos Naturais – IBAMA, órgão responsável por reconhecer a reserva particular por meio da publicação da portaria referente no Diário Oficial da União. Nessas unidades, é permitido o desenvol-

vimento de atividades que visem a conservação da biodiversidade local, bem como visitas educacionais e de pesquisa científica.

Neste contexto, foi criada no ano de 2002 a Reserva Particular de Patrimônio Natural Jubran, situada na zona rural do Município de Cáceres, Mato Grosso, com o objetivo de promover a conservação da diversidade biológica do Pantanal na área (BRASIL, 2002; ICMBIO, 2017). A reserva, com área de 35.531,00 hectares, abrange mais de 60% da Fazenda Nova Larga, propriedade de Agroju Agropecuária, onde foram prestadas atividades de apoio à pecuária, além da criação de bovinos para corte no período anterior à criação da RPPN.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre as bandas espectrais que formam uma imagem de satélite, por meio do qual é possível dimensionar quantitativamente e qualitativamente as alterações (diferenças) na cobertura do solo (MELO et al., 2011; PARANHOS FILHO et al., 2021).

Dessa forma, o objetivo deste estudo consistiu em realizar a análise multitemporal da cobertura vegetal presente na área da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Jubran, no período anterior à data em que foi instituída (em 2001) e no no ano de 2017, a fim de avaliar a eficácia da unidade de conservação na preservação ambiental da região estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área objeto desse estudo trata-se da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Jubran, situada em Cáceres, Estado de Mato Grosso, localizada entre os meridianos W 57°42’ e W 57°18’ e entre os paralelos S 16°42’ e S 16°54’ (Figura 1). Essa área foi reconhecida através do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, como RPPN no ano de 2002 pela Portaria nº 50 publicada no Diário Oficial da União (edição nº 75, 2002 – BRASIL, 2002). A reserva Jubran é propriedade da empresa AGROJÚ Agropecuária Ltda e constitui parte integrante do imóvel Fazenda Nova Larga (BRASIL, 2002).

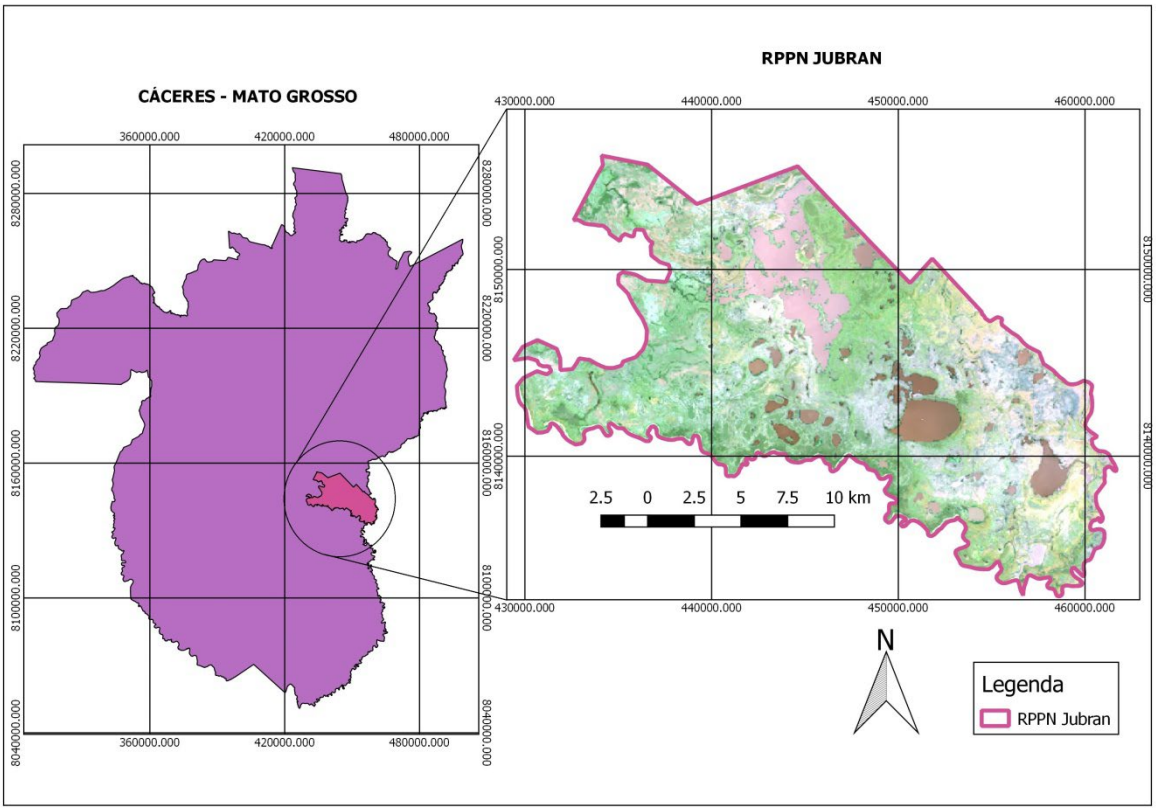


Figura 1. Mapa de localização da RPPN Jubran, em Cáceres/MT

A hidrografia da região de planejamento Cáceres é caracterizada pela drenagem das águas pelas bacias do Rio Amazonas e do Rio Paraná. A área próxima à RPPN Jubran apresenta uma série de lagos e lagoas, devido ao fato de tratar-se de uma planície alagada. Destaca-se também a presença da Baía Grande, ao norte da reserva. Ainda de acordo com o relatório das regiões de planejamento do Estado de Mato Grosso, o clima da região sudoeste é predominantemente mesotérmico, com temperaturas variando de 21° a 26°C. Na região, o período da seca ocorre nos meses de maio a setembro (MATO GROSSO, 2017).

Os principais tipos de solo observados na região são Neossolo Quartzarênico, Latossolo e Argissolo, cuja cobertura natural é caracaterística do bioma Pantanal, no qual são observadas vegetações do tipo “Savana Arborizada” e floresta estacional. Nas áreas antropizadas, observa-se a remoção da vegetação natural para abertura de áreas de pastagem para uso da pecuária, principal atividade econômica de Cáceres de acordo com a Prefeitura Municipal (CÁCERES, 2017).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A metodologia empregada consiste na aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), a partir do qual é possível determinar a densidade de fitomassa presente na área. Quanto maior for o valor do índice de vegetação, mais densa é a fitomassa verde (MELO et al., 2011). Dessa forma, utilizou-se o índice para determinar a cobertura

vegetal da área da RPPN em anos diferentes a fim de fazer a análise comparativa da evolução temporal do local.

Para este estudo foram utilizadas imagens de dois satélites da família Landsat na órbita 227 e ponto 072. A primeira delas, obtida pelo satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), é datada em 24 de setembro de 2001 (USGS, 2001) e refere-se ao período anterior à data de criação da RPPN Jubran. A segunda foi obtida pelo satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operacional Land Imager*) e refere-se ao período mais atual, cuja data de captura é 06 de setembro de 2017 (USGS, 2017). A seleção das imagens foi realizada através de critério visual, a partir da pré-visualização no banco de dados *Earth Explorer* da *Science for Changing World* (USGS), para que fossem identificadas aquelas que correspondessem melhor ao período de seca, sem a presença de nuvens.

Além das imagens Landsat, foi utilizado o arquivo *shapefile* que delimita o perímetro da RPPN Jubran, obtido através do banco de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (ICMBio - http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/detalhe/597/). A partir desse arquivo, foi gerado o *buffer* de distância 10.000 metros dessa camada, através do *software* QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016), para delimitação da área de entorno.

O índice de vegetação por diferença normalizada relaciona as refletâncias nos comprimentos de onda correspondente ao infravermelho próximo (NIR) e vermelho (R) de cada imagem e é calculado através da Equação 1 (ROUSE et al., 1974).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

onde,

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR= reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R= reflectância da vegetação na banda do vermelho.

Nas imagens Landsat, as refletâncias do vermelho e infravermelho próximo são representadas em diferentes bandas para cada satélite. No satélite Landsat 5/TM, foram utilizadas as bandas 3 e 4, correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Já no satélite Landsat 8/OLI, as bandas 4 e 5 correspondem ao vermelho e infravermelho próximo, nesta ordem.

Inicialmente, é feita a composição do NDVI para as imagens de cada satélite separadamente, gerando índices parciais relativos a cada ano selecionado. Através da ferramenta "calculadora raster", é realizado o cálculo do índice de acordo com a equação mostrada acima. A fim de garantir a correta aplicação da metodologia, devem ser respeitados valores de máximo e mínimo, de modo que o índice varie entre 1 e -1.

Com o auxílio da ferramenta “recorte”, foi possível delimitar nas imagens NDVI parciais geradas apenas para a área correspondente à RPPN e seu entorno, a fim de facilitar a análise das mesmas. Tais imagens são apresentadas nas Figuras 2 e 3.

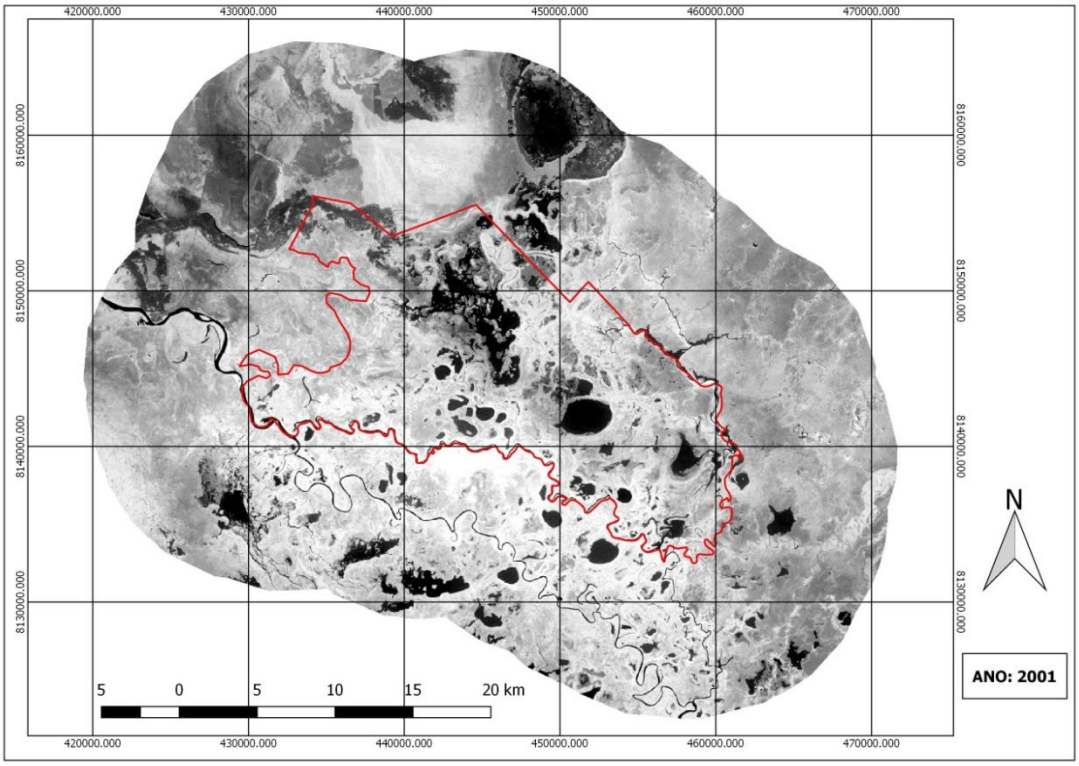


Figura 2. Imagem parcial NDVI do ano de 2001 (Landsat 5). Em vermelho, é representado o limite da RPPN Jubran; Em volta do limite, uma área de entorno de largura 10.000 m

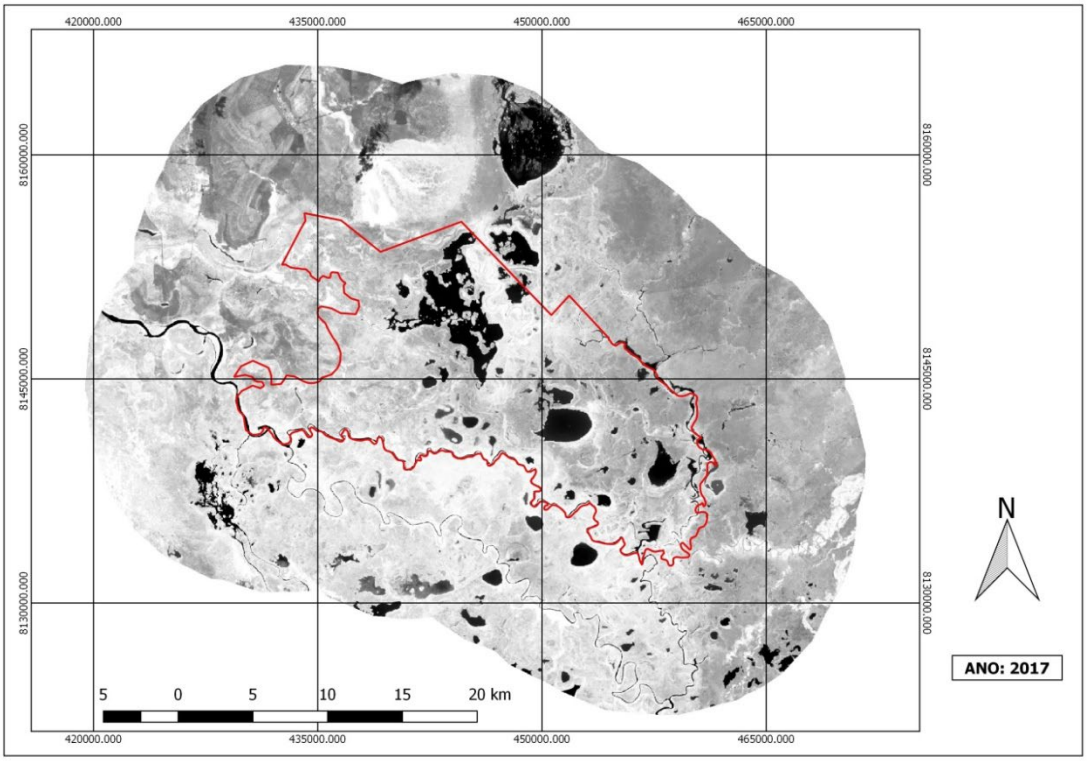


Figura 3. Imagem parcial NDVI do ano de 2017 (Landsat 8); Em vermelho, é representado o limite da RPPN Jubran; Em volta do limite, uma área de entorno de largura 10.000 m

Em seguida, as imagens NDVI parciais foram unidas em uma única imagem, com o intuito de permitir a análise temporal da cobertura vegetal que evidenciará a eficiência da unidade de preservação RPPN Jubran. A junção das imagens é feita com o uso da ferramenta “mosaico”, na opção “pilha de camada”, gerando como produto uma nova imagem NDVI.

Entretanto, para melhor visualização das áreas e análise do produto, é necessário fazer a renderização das bandas através da composição falsa-cor (vermelho, verde e azul) em cena multiespectral, através da alteração das propriedades gerais da imagem NDVI final. A renderização consiste em sobrepor as camadas unidas na seguinte sequência: banda 2 (imagem Landsat 5 – 2001), banda 1 (imagem Landsat 8 – 2017) e banda 2 (imagem Landsat 5 – 2001) novamente. A partir dessa composição, foi possível verificar as alterações ocorridas na área objeto do estudo entre o período de 2001 a 2017, por meio da análise visual das cores apresentadas na imagem.

Para a quantificação das alterações, as imagens NDVI dos satélites Landsat 5 (ano 2001) e Landsat 8 (ano 2017) foram classificadas utilizando a técnica de fatiamento do NDVI na composição falsa-cor R4G5B3. Inicialmente, foi criada uma nova camada *shapefile* para cada classe desejada, por meio do *software* QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2010). Neste estudo, as classes selecionadas foram área úmida, pastagem e vegetação arbórea pouco densa. Para cada camada foram coletadas cinco amostras da cobertura do solo, com o máximo de homogeneidade possível. Em seguida, dividiu-se a camada *shapefile* por meio da opção “dividir camada vetorial” na aba “vetor”. Fez-se então o recorte da imagem NDVI utilizando cada uma das amostras coletadas, já divididas. O processo foi realizado na imagem Landsat 5 e Landsat 8.

Por meio da análise estatística disponível nas propriedades de cada recorte do NDVI, foi possível observar os limites de variação máximo e mínimo das amostras, para assim determinar o intervalo de variação de cada classe como um todo.

Após definidos os intervalos de variação das classes, promoveu-se a contagem do valor dos pixels nas imagens NDVI referentes aos anos de 2001 e 2017. Esse valor é dado pela aplicação da ferramenta “*unique values count*”, disponível para arquivos raster na caixa de ferramentas de processamento. Tal ferramenta retorna um arquivo na extensão “.html” contendo o valor apresentado no pixel e a quantidade de pixels que contém tal valor. A partir daí procedeu-se à contagem da quantidade de pixels contidos no intervalo de cada classe, a fim de quantificar a variação de vegetação na RPPN e seu entorno entre os anos de 2001 a 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto gerado com a composição das imagens Landsat foi a imagem NDVI da RPPN Jubran, cujas camadas foram renderizadas em composição falsa-cor, onde é possível verificar tons de verde e magenta, conforme mostrado na Figura 4.

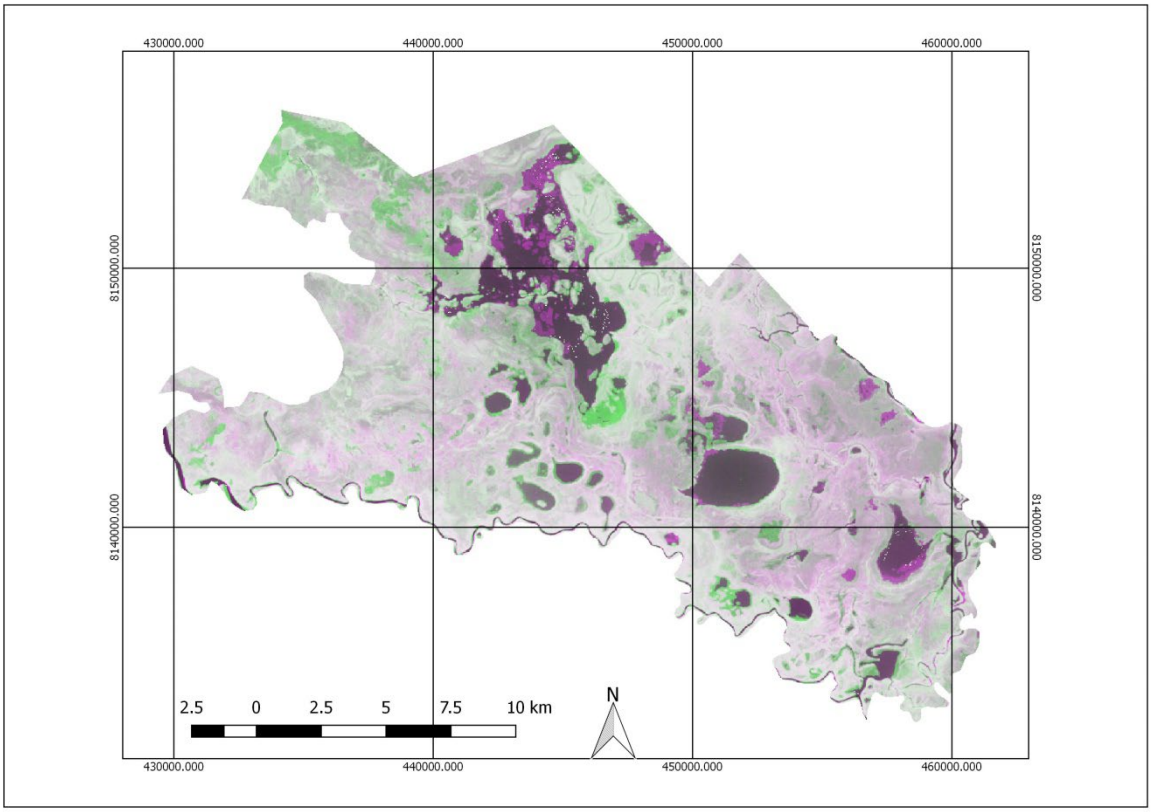


Figura 4. Imagem final NDVI da RPPN Jubran

Por conta da introdução da imagem Landsat 5 nas bandas do vermelho e do azul e da imagem Landsat 8 na banda do verde na composição multiespectral, os tons de magenta observados na imagem final (Figura 5) indicam a diminuição de vegetação, da mesma maneira que os tons esverdeados indicam o aumento da fitomassa.

Quanto mais intensa for a coloração apresentada, maior é a diferença no valor do índice entre os dois anos trabalhados (2001 e 2017), de modo que se a cor apresentada no pixel for verde, afirma-se que o valor do índice de 2017 é maior que o valor do índice de 2001, e se for magenta, observa-se o contrário.

Para melhor análise e interpretação da imagem gerada, foi definida ainda uma área de entorno a uma distância de 10.000 metros do perímetro da RPPN. Essa área sofre a ação dos fatores externos do ambiente, de modo que representa a influência antrópica sobre a RPPN.

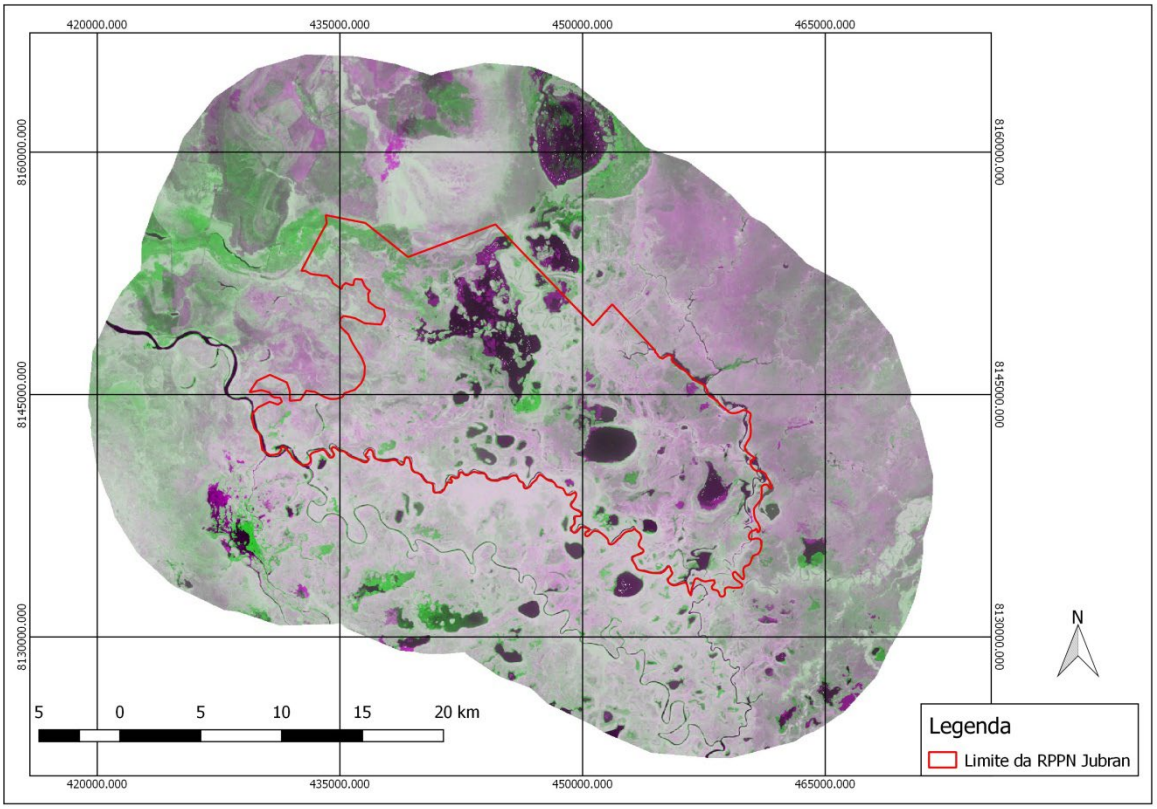


Figura 5. Imagem final NDVI com a área de entorno da RPPN Jubran (polígono em vermelho) em composição falsa-cor com as bandas 1 (Landsat 8) e 2 (Landsat 5)

Foram observadas manchas na cor magenta em tonalidade claro na porção central da imagem NDVI. A intensidade da tonalidade indica uma pequena redução na quantidade de fitomassa. Considerando que as imagens utilizadas são do período de seca do Pantanal, a redução observada indica a baixa presença de clorofila da vegetação no ano de 2017.

Foi observado também que existem áreas magenta em tons mais fortes próximas às porções de água. A cor intensa nessa região não indica que houve a diminuição de vegetação e sim o aumento da presença de água no local, isto é, possivelmente houve um aumento da área alagada no ano de 2017 com relação a 2001. Esse fato pode ser confirmado pelo valor dos pixels que compõem essa área, que apresentam numeração negativa, indicando a presença de água.

Os principais pontos de coloração magenta intensa, onde se observa a maior diferença no valor do índice e que indicam diminuição da resposta de vegetação, são identificados ao norte da área de entorno, fora da reserva. Entretanto, a mancha intensa, apesar de próxima ao perímetro-limite da RPPN, não apresenta ligação com o interior da área, de modo que é possível afirmar que o isolamento da área com a criação da RPPN é capaz de proteger o local das agressões externas exercidas ao redor do mesmo.

A coloração esverdeada foi notada em quase toda a extensão da RPPN, bem como em sua área de entorno. O tom da coloração verde é fraco, indicando que houve um pequeno aumento na quantidade de fitomassa. Além disso, foram observados pequenos pontos

de coloração esverdeada mais intensa, constituindo possíveis focos de recomposição vegetal observados em auge no ano de 2017.

São observadas áreas de coloração verde intensa na porção central e norte da área da RPPN, que indicam um grande aumento da vegetação no local. Esses focos de intenso aumento de fitomassa foram identificados também na área do entorno da RPPN, fato que pode indicar a influência da unidade de conservação além de seus limites.

Uma hipótese razoável para essa observação seria a possibilidade da criação da RPPN Jubran influenciar não somente a área da unidade de conservação, mas também o seu entorno. Uma vez iniciado o processo de reconstituição de vegetação, a fauna local também é influenciada, sendo atraída novamente ao local. A presença de espécies animais, principalmente insetos e aves, auxilia no processo de revegetação, visto que atuam na quebra de dormência e dispersão de sementes de espécies vegetais arbóreas (MACEDO, 1993).

Dessa forma, a análise da imagem permite afirmar que a reserva RPPN Jubran foi capaz de não somente promover a recuperação da vegetação em sua área como também influenciar nas áreas ao redor, atuando de “dentro para fora” dos limites da unidade de conservação.

Com o intuito de complementar o estudo, foi realizada a classificação da imagem, a fim de quantificar o número de pixels de cada classe nas imagens NDVI de 2001 e 2017 e assim atestar com valores numéricos o aumento ou diminuição de cada tipo de cobertura apresentado. Tendo em vista o objetivo do estudo de determinar a efetividade da RPPN na preservação ambiental em termos de vegetação, foram selecionadas apenas três classes principais: área úmida, pastagem e vegetação arbórea pouco densa.

Os intervalos de variação foram calculados, conforme metodologia de fatiamento da camada NDVI, e foram encontrados os mesmos intervalos de variação para as duas camadas Landsat 5 e Landsat 8. A Tabela 1 contém o intervalo de variação de cada classe e quantidade de pixels que apresentaram valor dentro de cada faixa.

Tabela 1. Quantificação das classes de vegetação em contagem do número de pixels

Intervalo	Descrição de Classe	RPPN Jubran		Área de Entorno	
		Landsat 5	Landsat 8	Landsat 5	Landsat 8
0,21 – 0,30	Área úmida	21.603	3.770	80.755	14.222
0,31 – 0,40	Pastagem	24.752	3.101	96.252	30.267
0,51 – 0,85	Vegetação arbórea pouco densa	261.681	337.952	843.243	1.145.774

Através da análise da contagem de pixels, é possível perceber por simples comparação numérica que houve uma diminuição da área úmida no interior da RPPN Jubran no ano de 2017 frente ao ano de 2001. Como as imagens datam de meses diferentes, é possível afirmar que a imagem do ano de 2017 foi capturada num período em que a seca estava mais atuante na região, uma vez que a área de entorno da RPPN também apresenta o mesmo comportamento.

Com relação à classe pastagem, houve significativa redução na quantidade de pixels com valor dentro do intervalo desta classe, de maneira que constata-se a diminuição da área cuja cobertura do solo é feita por pastagem, tanto no interior da RPPN quanto no seu entorno. Como a maior redução foi observada dentro do limite da RPPN, cabe ainda a associação desse dado à hipótese já apresentada anteriormente, de modo que reitera-se a influência positiva da unidade de conservação sobre a área ao redor quanto à regeneração natural dessas áreas, promovendo a recuperação das espécies vegetais do interior da reserva para o exterior.

Essa afirmação também se relaciona à quantidade de pixels que apresentaram resposta com valor de vegetação arbórea pouco densa, visto que houve aumento dessa classe no ano de 2017 em comparação a 2001. Com a diminuição da pastagem e aumento da vegetação arbórea pouco densa, é possível afirmar que a área da RPPN e seu entorno estão passando por um processo de substituição da cobertura vegetal, transitando de espécies menores a espécies com estruturas maiores, confirmando a recuperação da vegetação na reserva e atestando a eficácia do estabelecimento de unidades de conservação na preservação e conservação da biodiversidade de espécies vegetais.

CONCLUSÕES

Através da pesquisa desenvolvida nota-se que a Reserva Particular de Patrimônio Natural Jubran cumpre seu papel como unidade de conservação ambiental do bioma Pantanal, uma vez que é eficaz na preservação e recuperação da vegetação da área dentro do seu limite territorial. A análise do entorno da RPPN permitiu a formulação da hipótese de que a criação da unidade de conservação e sua atuação na restauração da biota local influenciam também nas áreas de entorno, de maneira que promovem a recuperação das espécies vegetais dessas áreas.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) aplicado às imagens dos satélites Landsat mostrou-se uma metodologia simples e de ampla aplicabilidade, além de ser de extrema utilidade nos estudos de análise ambiental de vegetação e cobertura do solo por sensoriamento remoto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos a CAPES pela bolsa de doutorado de César Claudio Cáceres Encina.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Portaria nº 50, de 18 de abril de 2002. Reconhece como Reserva Particular do Patrimônio Natural a reserva denominada “Reserva Jubran”. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 139, 19 abr. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Unidades de Conservação. 2012. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/ouvidoria/itemlist/category/34-unidades-de-conservacao.html#:~:text=As%20unidades%20de%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20(UC,do%20territ%C3%B3rio%20nacional%20e%20das. Acesso em: 25 mai. 2021.

CÁCERES - PREFEITURA MUNICIPAL DE CÁCERES. Aspectos Econômicos de Cáceres. 2017. Disponível em <http://www.caceres.mt.gov.br/Caceres-AE/>. Acesso em: 25 out. 2017.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. RPPN JUBRAN. 2017. Disponível em <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/detalhe/597/>. Acesso em: 28 mai. 2021.

MACEDO, A. C. Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo: Fundação Florestal, 1993. p. 7. Disponível em <http://saf.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/I_manual_vegetacao_1ed_1993.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2021.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN. Regiões de Planejamento de Mato Grosso. Organizado por Antônio Abutakka, Elienai Carrias da Silva, Vallência Maíra Gomes. 2017. 245 p. Disponível em: http://www.seplan.mt.gov.br/documents/363424/10397701/Perfil+-+Regi%C3%B5es+de+Planejamento+de+Mato+Grosso+2017+-+1%C2%AA+Edi%C3%A7%C3%A3o+-++22.09.2017.pdf/d8b6d6de-6036-0daf-dc42-de4aa154ce0b. Acesso em: 28 mai. 2021.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - Ce. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, p. 520-533, 2011. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919>. Acesso em: 28 mai. 2021.

PARANHOS FILHO, A. C.; CATALANI, T. G. T.; MARCATO JÚNIOR, J.; PESSI, D. D. Resolução. *In:* PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D.; GAMARRA, R. M.; SILVA, N. M.; RIBEIRO, J. R. (org.). **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul, 2021. p. 25-60. ISBN 978-65-86010-62-6.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 2.14 “Essen”. Open Source Geospatial Foundation Project. 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Nasa Special Publication**, v. 351, n. 1974, p. 309-317, 1974.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 227, Ponto 072. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7. Data de passagem: 24 de setembro de 2001. 2001. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 24 out. 2017.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 8, sensor OLI. Órbita 227, Ponto 072. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7. Data de passagem: 20 de outubro de 2017. 2017. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 24 out. 2017.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO NDVI E NDWI DA RPPN PACULÂNDIA E SEU ENTORNO NO PANTANAL MATOGROSSENSE

RODRIGO GONÇALVES HIPÓLITO
Engenheiro Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

CAMILA LEONARDO MIOTO
Doutora em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: The National Conservation Unit System (SNUC) is a set of federal, state and municipal conservation units (UC), comprising 12 categories, whose specific objectives differ in terms of the form of protection and permitted uses. They are classified as permanent protection and sustainable use. Among the conservation units for sustainable use are those defined as Private Natural Heritage Reserves (RPPN). Until February 2021, IMASUL, Institute for the Environment of Mato Grosso do Sul, accounted for a total of 54 RPPNs throughout the state (GOVERNMENT OF STATE OF MATO GROSSO DO SUL, 2021). This article presents a multitemporal analysis of the RPPN Paculândia and its surroundings, located in the Municipality of Corumbá, in the Pantanal of Sulmatogrossense, between 2000 and 2017. Through the analysis of the variation of the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) values, as well as of the variation of NDWI (Normalized Difference Water Index) values, through the use of LANDSAT images, a comparison was made between the Conservation Unit and its surroundings, verifying the values presented prior to the creation of the RPPN Paculândia, as well as their behavior in the years following, confronting the interior of the conservation unit with its surroundings. The variations found in the indexes within the CU and its surroundings showed the same pattern, with no significant variations in the analyzed period.

Keywords: Vegetation index, environmental preservation, wetland, environmental management

RESUMO: O Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC) é o conjunto de unidades de conservação (UC) federais, estaduais e municipais, composto por 12 categorias, cujos objetivos específicos se diferenciam quanto à forma de proteção e usos permitidos. São classificadas como de proteção permanente e uso sustentável. Dentre as unidades de conservação de uso sustentável estão aquelas definidas como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Até fevereiro de 2021, o IMASUL, Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, contabilizava um total de 54 RPPNs em todo o Estado (MATO GROSSO DO SUL, 2021). Este artigo apresenta a análise multitemporal da RPPN Paculândia e seu entorno, situados no Município de Corumbá, no pantanal sulmatogrossense, entre os anos de 2000 e 2017. Através da análise da variação dos valores do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), bem como da variação dos valores do NDWI (*Normalized Difference Water Index*), por intermédio do emprego de imagens do LANDSAT, foi realizada a comparação entre a Unidade de Conservação e seu entorno verificando os valores apresentados anteriormente à criação da RPPN Paculândia, bem como seu comportamento nos anos seguintes, confrontando o interior da unidade de conservação com seu entorno. As variações encontradas nos índices dentro da UC e em seu entorno apresentaram o mesmo padrão, sem variações significativas no período analisado.

Palavras-chave: Índice de vegetação, preservação ambiental, áreas úmidas, gestão ambiental

INTRODUÇÃO

O Artigo 225 da Constituição Federal prevê a garantia de um meio ambiente ecologicamente equilibrado (BRASIL, 1988). Além disso, a Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, que havia instituído o Código Florestal Brasileiro, apresentou em seu artigo 2º, um instrumento fundamental de proteção ao meio ambiente: as Áreas de Preservação Permanente (APP) (BRASIL, 1965). A lei definiu que uma APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 1965).

Atualmente, o Código Florestal, definido pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), institui as Áreas de Preservação Permanente, consistindo de espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa.

O território continental brasileiro está dividido em seis biomas. O bioma de maior extensão é a Amazônia, que ocupa 49,29% do território nacional. O de menor extensão é o Pantanal, com 1,76% do território. Somados, ambos representam mais da metade do Brasil continental (IBGE, 2004).

Já foi dito que o bioma Pantanal é o menor bioma em extensão territorial no Brasil, todavia, ele tem grande relevância ambiental. Está presente em dois Estados, ocupando 25% do Mato Grosso do Sul e 7% do Mato Grosso (IBGE, 2004). Sua importância ecológica é muito grande pois esta área tem grande riqueza de fauna e flora e abriga uma grande diversidade de aves migratórias, mamíferos, anfíbios e répteis. É um patrimônio da humanidade, reserva da biosfera e abriga três Sítios Ramsar (BRASIL, 2018a).

Uma questão preocupante é atividade agropecuária. De acordo com o Programa de Monitoramento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS do Ministério do Meio Ambiente, realizado com imagens de satélite de 2009, o bioma Pantanal mantém 83,07% de sua cobertura vegetal nativa (BRASIL, 2018b). A maior planície alagável do mundo possui apenas uma pequena parte de protegida por unidades de conservação.

A característica inerente ao Pantanal é o alagamento ocorre sazonalmente na planície. As plantas e animais são adaptados às suas enchentes e secas anuais. De maneira geral, o período de seca favorece o uso de diversas áreas de pastagens que são inundadas no período das chuvas. Assim, muitos produtores se beneficiam do abaixamento das águas, fazendo o manejo destas áreas integradas (SANTOS et. al., 2007).

De acordo com a Lei nº 9.985 de 2000 (BRASIL, 2000), o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) define que unidade de conservação é um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo poder público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BURSZTYN e BURSZTYN, 2013). Atividades recreativas, turísticas, de educação e pesquisa são permitidas em uma Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN), desde que estejam previstas em seu respectivo plano de manejo e/ou autorizadas pelo órgão ambiental responsável pelo seu reconhecimento (MATO GROSSO DO SUL, 2021).

A cheias anuais dificultam o acesso ao Pantanal. Diante disso, o sensoriamento remoto é o meio ideal para adquirir informações dos mais distantes e inóspitos lugares para processar os dados obtidos e apresentar um produto com informações que, certamente, uma pesquisa de campo poderia não ser capaz de ter o mesmo êxito.

Como ferramenta de análise, o índice de água por diferença normalizada (NDWI) proporciona uma noção da quantidade de água e, associado ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), auxilia na análise do vigor da vegetação na superfície analisada. Dessa forma, é possível analisar de maneira pouco dispendiosa a evolução da vegetação em unidades de conservação em áreas remotas.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo verificar a evolução da vegetação dentro da RPPN Paculândia, comparando-a com os mesmos índices de seu entorno, entre os anos de 2000 e 2017.

Área de estudo

Além de sua beleza natural, atrativo turístico mundialmente conhecido, o Pantanal tem grande biodiversidade. Em contrapartida, práticas ilegais não são raras, dentre elas a caça e a extração vegetal de espécies consideradas nobres. Neste último caso, o emprego de imagens de satélite pode atuar como fonte de evidências de crimes ambientais.

A área selecionada para ser o objeto deste estudo foi uma unidade de conservação (UC) localizada no Pantanal sulmatogrossense, denominada Reserva Particular do Patrimônio Nacional – RPPN Paculândia. Esta é uma UC federal, de uso sustentável, sendo ali permitida a exploração de parte dos recursos naturais de forma sustentável. Esta UC foi criada pelo IBAMA, através da Portaria nº 20 de 05 de fevereiro de 2002, publicada no Diário Oficial da União nº 26, no dia 06 de fevereiro de 2002 (BRASIL, 2002).

A RPPN Paculândia situa-se no território político administrativo do Município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, na Bacia do Rio Paraguai, Unidade de Planejamento e Gerenciamento – UPG Rio Negro, região do Pantanal de Miranda-Abobral (Figura 1). Possui área total de 8.232 ha, constituindo parte integrante da propriedade Fazenda Paculândia (ICMBIO, 2018). Ela é limitada na porção norte e noroeste pelo Rio Paraguai e pelo Rio Miranda pelos extremos oeste, sudoeste e sul.

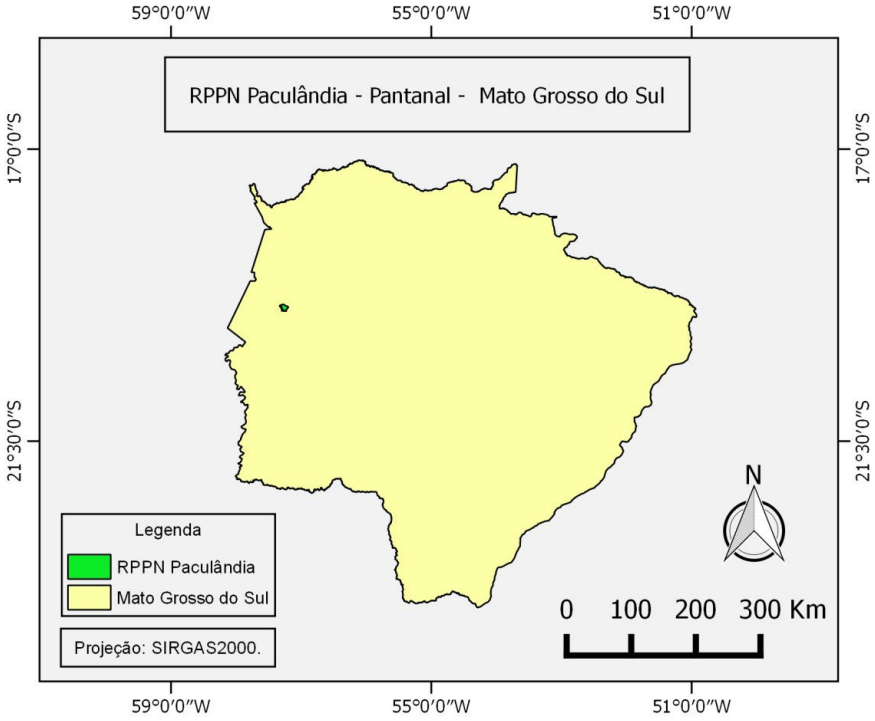


Figura 1. Mapa de localização da RPPN Paculândia, em Corumbá/MS

Processamento dos Dados

Através do acesso ao acervo *do United States Geological Survey* – Serviço Geológico dos Estados Unidos, foram obtidas as imagens do satélite LANDSAT 5 datadas em 13 de agosto de 2000, 23 de setembro de 2003, 11 de agosto de 2005, 19 de agosto de 2007, 09 de setembro de 2009 e 29 de setembro de 2011(USGS, 2000, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011). A imagem do satélite LANDSAT 8, de 13 de setembro de 2017, foi obtida junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais – DGI INPE (INPE, 2017). Tais imagens já são disponibilizadas georreferenciadas e com correção atmosférica.

Assim, foram obtidos os produtos que oferecem dados de reflectância de superfície da órbita/ponto 226/74, onde está situada a RPPN Paculândia. As imagens foram capturadas no período considerado seco, ou seja, de abril a setembro (SORIANO, 2002), num período correspondente a dois anos antes da criação; um, três, cinco, sete, nove e 15 anos após a criação.

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 (PARANHOS FILHO et al., 2021). Assim, as operações matemáticas envolvendo as bandas de uma determinada imagem são utilizadas na criação de índices, geralmente empregados no estudo de uso e cobertura do solo.

Uma das ferramentas desenvolvidas e amplamente utilizadas em vários países para monitorar a cobertura vegetal de determinada região são os índices de vegetação (IV) (ALBUQUERQUE et al., 2014).

O NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetetation Index*), proposto por Rouse et al. (1973) é o resultado da divisão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho pela soma dessas mesmas bandas, conforme Equação 1 (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

onde,

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR= reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R= reflectância da vegetação na banda do vermelho.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1 (BORATTO e GOMIDE, 2013). O valor mais próximo a 1 representa vegetação mais densa, enquanto o valor zero indica a ausência de vegetação (ROSENDO, 2005 apud VIGANÓ et al., 2011). Os valores negativos estão relacionados a

corpos d'água, nuvens, sombras e neve. De acordo com Boratto e Gomide (2013), este índice é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, onde, nas superfícies que contenham água ou nuvens, sua variação é sempre menor que zero.

De acordo com Pereira et. al (2016), o NDWI (índice de água por diferença normalizada, do inglês *Normalized Difference Water Index*), proposto por McFeeters (1996), é o resultado da divisão entre a diferença das reflectividades das bandas no verde e no infravermelho próximo, pela soma dessas mesmas bandas, conforme a Equação 2 (MCFEETERS, 1996).

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (2)$$

onde,

NDWI = índice de água por diferença normalizada;

GREEN= reflectância da vegetação na banda do verde;

NIR= reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo.

O valor de NDWI varia de -1 para 1. McFeeters (1996) apud Pereira et al. (2016) definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é água se NDWI ≥ 0 e não água se NDWI ≤ 0.

Por outro lado, GAO (1996) apud CAIONI et al. (2014) propôs um modelo matemático, cujo índice é obtido através da reflectância do infravermelho próximo e do infravermelho médio, conforme a Equação 3 (GAO, 1996).

$$NDWI = (IV_{pm} – IV_{m}) / (IV_{pm} + {}_{IVm)} \quad (3)$$

onde,

IV_{pm} = valor da refletância na faixa do infravermelho próximo;

IV_{m} = valor da refletância na faixa do infravermelho médio.

Comparando-se a metodologia proposta pelos autores, tem-se que Gao (1996) apud Holanda e Guerra (2010), propôs que os valores de NDWI possuem variação ente -0,056 (negativo) para vegetação seca, tendendo a valores positivos para vegetação verde. Para (MCFEETERS, 1996), a variação está entre -1 e 1. Todavia, este autor definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é água se NDWI≥ 0, e não água se NDWI≤ 0 (BRUBASCHER e GUASSELLI, 2013 apud BRENNER e GUASSELI, 2015). Assim, o NDWI produz uma resposta no intervalo [-1, 1], facilitando a análise e a interpretação do resultado.

O modelo utilizado neste trabalho para o cálculo do NDWI foi o proposto por GAO (1996), empregando as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio

Para o processamento dos dados foi empregado o sistema de informação geográfica (SIG) QGIS 2.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2012), um sistema de informação geográfica livre e gratuito, sendo utilizada a ferramenta de calculadora raster para o cálculo dos respectivos índices (NDVI e NDWI).

Para a obtenção do entorno da RPPN Paculândia, empregou-se a ferramenta de *buffer*, criando um novo arquivo vetorial com o perímetro da própria RPPN. A área total do entorno resultou em 21.222,9 ha.

Após a composição das bandas espectrais para a representação dos índices, as imagens foram recortadas com base nos arquivos vetoriais do perímetro e do entorno da RPPN Paculândia. Dessa forma, para a análise multitemporal foram considerados somente os valores específicos contidos na RPPN analisada, de forma a compará-los com os valores obtidos no entorno, de acordo com cada imagem previamente selecionada.

Com os índices calculados para cada ano, procedeu-se o recorte com o perímetro da área de estudo. Assim, os dados referentes ao NDVI e NDWI multitemporal, nos valores máximo, mínimo e médio, bem como o desvio padrão respectivo foram compilados. Da mesma forma, procedeu-se o recorte da área de entorno a RPPN, calculando os valores de NDVI e NDWI para os anos de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Gamarra et al. (2016), o NDVI fornece uma noção da quantidade e vigor da vegetação na superfície analisada. Assim, dentro dos propósitos da criação das UCs, a utilização do NDVI como medida indireta de complexidade e heterogeneidade ambiental pode ser uma abordagem interessante.

Por se tratar de uma área preservada já há algum tempo, a expectativa seria que os resultados dentro da RPPN e em seu entorno seriam discrepantes, apontando uma vegetação mais vigorosa dentro da unidade de conservação comparada ao seu entorno. O intervalo temporal de quinze anos após a criação da unidade analisada foi considerado suficiente para a confirmação desta suposição.

Na Tabela 1 tem-se os valores de NDVI obtidos para a RPPN Paculândia. Já na Tabela 2 tem-se os dados de NDVI para o entorno da RPPN.

Tabela 1. Valores do NDVI para a RPPN Paculândia

Ano	Máximo	Médio	Mínimo	Desvio Padrão
2000	0,843	0,499	-0,407	0,104
2003	0,785	0,466	-0,074	0,081
2005	0,834	0,363	-0,625	0,198
2007	0,831	0,492	-0,254	0,093
2009	0,861	0,613	-0,169	0,074
2011	0,815	0,489	-0,194	0,103
2017	0,527	0,227	-0,059	0,069

Tabela 2. Valores do NDVI para o entorno da RPPN Paculândia

Ano	Máximo	Médio	Mínimo	Desvio Padrão
2000	1,000	0,522	-0,786	0,168
2003	0,791	0,505	-0,203	0,133
2005	0,853	0,404	-0,915	0,228
2007	0,834	0,550	-0,798	0,150
2009	0,866	0,608	-0,340	0,162
2011	0,843	0,580	-0,258	0,162
2017	0,533	0,277	-0,136	0,107

Os dados referentes ao NDWI multitemporal da RPPN Paculândia, nos valores máximo, mínimo, médio, bem como o desvio padrão respective estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3. Valores do NDWI para a RPPN Paculândia

Ano	Máximo	Médio	Mínimo	Desvio Padrão
2000	0,456	-0,494	-0,774	0,089
2003	0,169	-0,427	-0,707	0,068
2005	0,419	0,079	-1,000	0,158
2007	0,356	-0,480	-0,756	0,074
2009	0,889	0,081	-0,137	0,107
2011	0,260	-0,497	-0,762	0,082
2017	0,389	0,0078	-0,144	0,105

Por fim, os dados do NDWI no entorno da RPPN Paculândia estão de acordo com o descrito na Tabela 4.

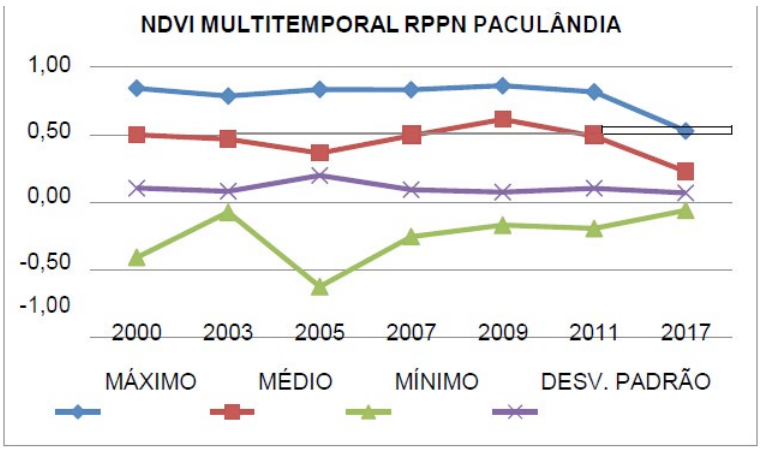
Tabela 4. Valores do NDWI para o entorno da RPPN Paculândia

Ano	Máximo	Médio	Mínimo	Desvio Padrão
2000	0,618	-0,504	-0,777	0,159
2003	0,238	-0,451	-0,704	0,125
2005	0,860	0,016	-1,000	0,212
2007	0,782	-0,513	-0,754	0,140
2009	1,000	0,126	-0,754	0,171
2011	0,577	-0,548	-0,800	0,155
2017	0,388	0,095	-0,138	0,1067

Produção e Análise de Gráficos

De acordo com os dados dispostos em tabelas, foram produzidos os gráficos com as representações de todas as variações dos índices, em seus valores máximo, mínimo, médio e seu desvio padrão. Na confecção dos gráficos foi selecionada a opção de apenas duas casas decimais. Cada área tem seu respectivo índice analisado, os quais estão representados nos Gráficos 1 a 8.

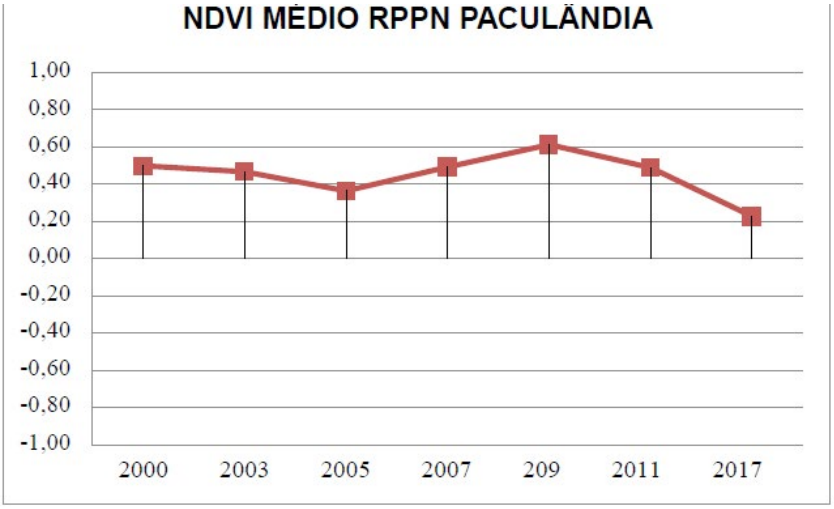
Figura 2. Variação multitemporal do NDVI na RPPN Paculândia



No Gráfico 1, os valores mantiveram-se próximo no intervalo de tempo analisado. A maior discrepância foi apresentada no valor mínimo encontrado em 2005. Apesar disso, houve uma progressão nos valores mínimos encontrados nos anos subsequentes.

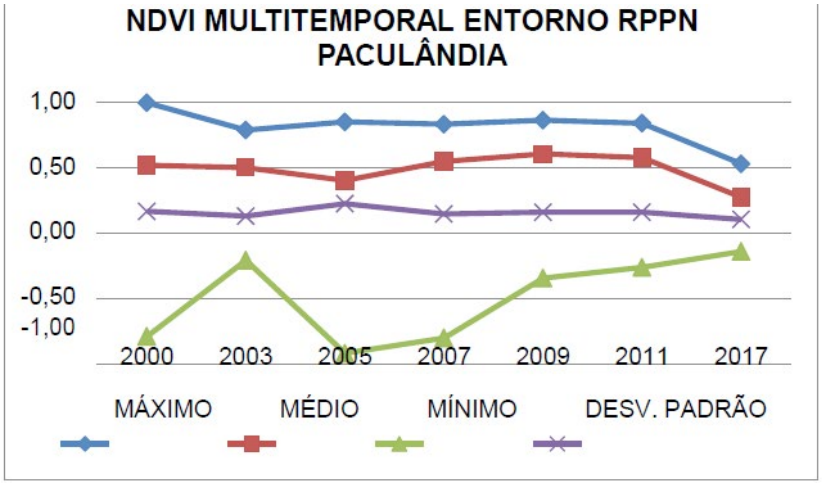
O Gráfico 2 apresenta somente a variação do NDVI no interior da RPPN Paculândia. Apesar de tratar-se de uma unidade de conservação, o valor médio encontrado após quinze anos de sua criação apresentou redução de aproximadamente 50%.

Figura 3. NDVI médio na RPPN Paculândia



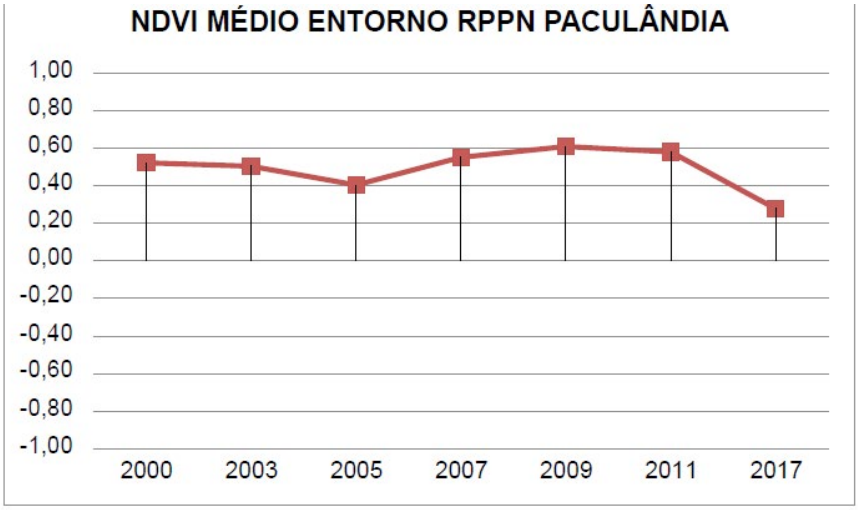
O Gráfico 3 demonstrou que no entorno da RPPN houve a mesma tendência de variação do NDVI. O menor valor encontrado foi registrado em 2005, com recuperação nos anos seguintes.

Figura 4. Variação multitemporal do NDVI no entorno da RPPN Paculândia



O Gráfico 4 apresenta a mesma tendência observada no interior da RPPN. Decorridos quinze anos de sua criação, o entorno da RPPN Paculândia também apresentou redução no índice de vegetação por diferença normalizada.

Figura 5. NDVI médio no entorno da RPPN Paculândia



A variação do NDWI no interior da RPPN Paculândia está representada no Gráfico 5. Neste caso houve grande variação no valor máximo encontrado em 2009 em contraste com os outros anos. Todavia, os valores médios e máximos seguiram a alta daquele ano. O Gráfico 6 apresenta o NDWI médio no interior da área de estudo.

Figura 6. Variação multitemporal do NDWI na RPPN Paculândia

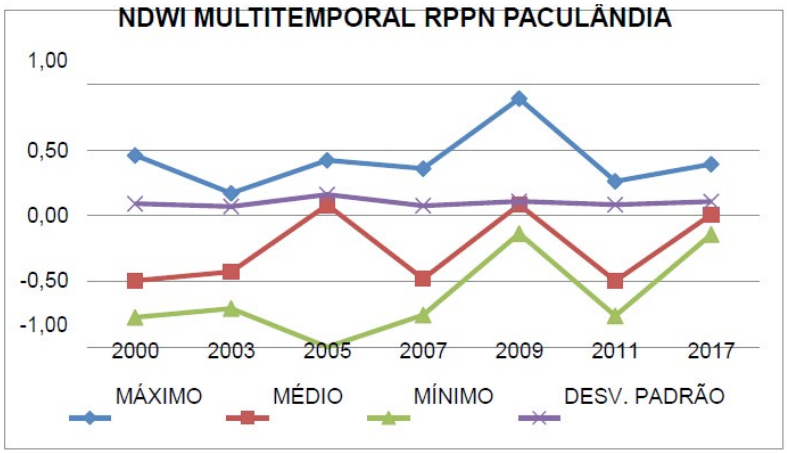
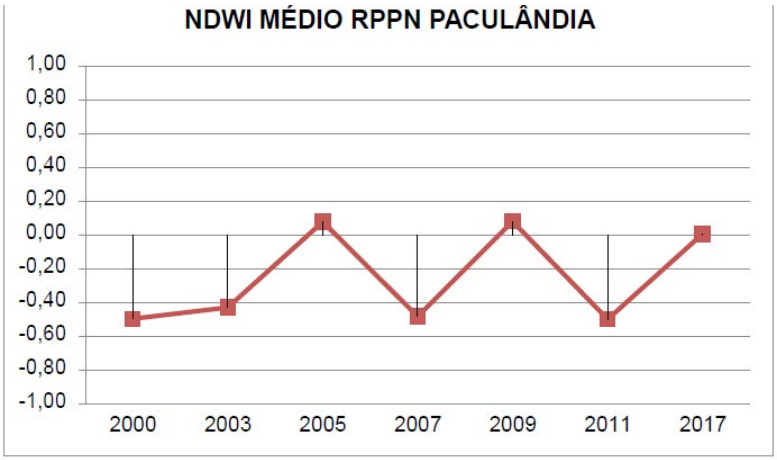
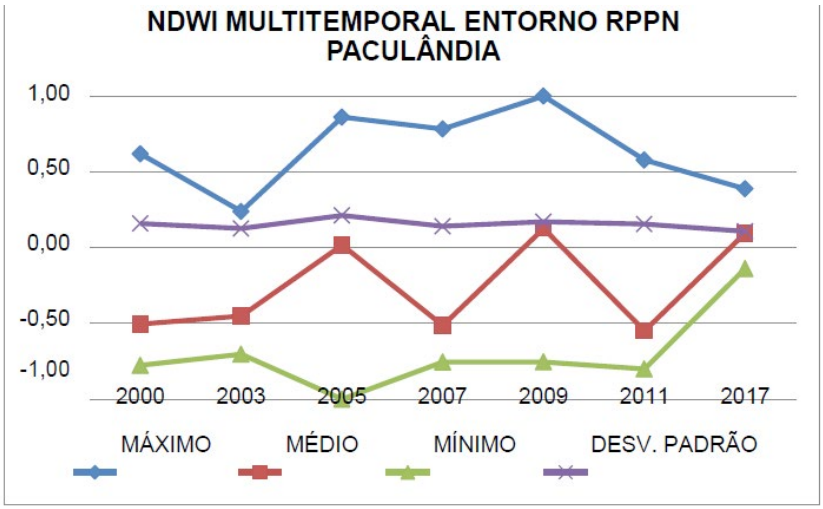


Figura 7. NDWI médio no interior da RPPN Paculândia



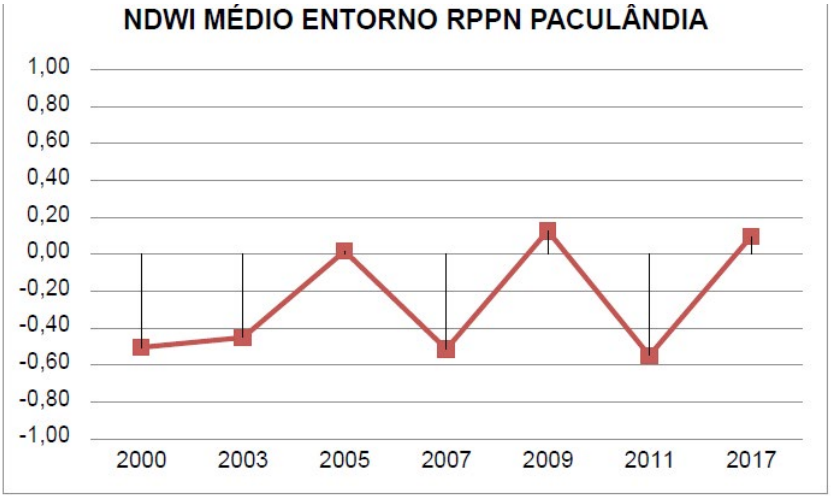
O entorno da RPPN Paculândia apresentou variação no NDWI similar ao interior da RPPN. O valor máximo encontrado em 2017 está pouco abaixo em relação a 2000. Quanto ao valor mínimo, o ano de 2017 apresenta uma alta em relação a 2000. O Gráfico 7 apresenta as variações do NDWI durante o intervalo de tempo analisado.

Figura 8. Variação multitemporal do NDWI no interior da RPPN Paculândia



A variação do NDWI médio no entorno da RPPN Paculândia, assim como no interior da Unidade de Conservação, apresentou recuperações e quedas. O ano de 2017 apresentou valou superior ao encontrado no ano 2000 (Gráfico 8).

Figura 9. NDWI médio no entorno da RPPN Paculândia



Ao analisar os gráficos é visível que não houve variações significativas em cada conjunto de dados analisados. As mudanças encontradas dentro da RPPN Paculândia foram muito semelhantes aquelas registradas em seu entorno. Todavia, vale ressaltar que o entorno tem em sua composição mata ciliar das margens dos rios Paraguai e Miranda. Este fato justifica o maior nível encontrado no NDVI mínimo da comparação. A mesma condição se repete no NDWI mínimo do entorno em patamar mais elevado.

É importante lembrar que os objetivos das unidades de conservação de uso sustentável remetem à conciliação da conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais de forma a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis, bem como a continuidade dos processos ecológicos.

Diante dos dados obtidos, é possível afirmar que a pressão antrópica sofrida pela RPPN Paculândia durante o intervalo de tempo analisado tem a mesma intensidade daquela recebida pelo seu entorno. A atividade antrópica não está influenciando significativamente a região analisada, mantendo as características fitográficas locais.

CONCLUSÕES

A pesquisa realizada apontou que o NDVI no entorno da RPPN se mostrou mais heterogêneo, porém, com comportamento igual ao da RPPN Paculândia. Por outro lado, o NDWI apresentou valores mais heterogêneos, com uma leve tendência de menos umidade no entorno.

O sensoriamento remoto é de suma importância para as análises ambientais. Acompanhar a manutenção, evolução ou recuperação de áreas degradadas ou destinadas à preservação torna-se viável através do grande conjunto de técnicas e procedimentos atualmente disponíveis.

As mudanças globais do clima atingem o Brasil de maneiras distintas: além de causarem prejuízos humanos e financeiros nas regiões urbanizadas, também afetam o ciclo vital de todos os biomas, onde o Pantanal torna-se vulnerável a processos de desertificação pela escassez de água (MILANEZ e FONSECA, 2010). Daí a importância da cobertura vegetal para a recarga das reservas freáticas e prevenção da instauração de processos erosivos, evitando a poluição e assoreamento dos cursos d'água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos a CAPES pela bolsa de doutorado de César Claudio Cáceres Encina.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no Município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2014. Disponível em: https://periodicos.ufpb.br/index.php/geo/article/view/17986/10625. Acesso em: 28 mar. 2018.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. INPE: Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 7345-7352. Disponível em: < http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0075.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Flroestal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 9529, 16 set. 1965.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 19 jul. 2000.

BRASIL. Portaria nº 20 de 05 de fevereiro de 2002. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 06 fev. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal. 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. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Sítios Ramsar. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegida/instrumentos-de-gestao/sítios- ramsar/biomas/pantanal>. Acesso em: 18 mar. 2018. a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Pantanal. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegida/biomas/pantanal>. Acesso em: 18 mar. 2018. b.

BRENNER, V. C.; GUASSELI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. INPE: Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais, 2015. p. 3693-3699. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0727.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2018.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do Rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo – RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. INPE: Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 4540-4547. Disponível em: < http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.20.25/doc/p0351.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2021.

BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de Política e Gestão Ambiental**. Os caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: Garamond, 2013. p. 512.

CAIONI, C.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; MIRANDA, M. R. S.; SEABRA JÚNIOR, S. Análise do comportamento de NDWI e temperatura superficial frente a diferentes formas de usos da terra no município de Curvelândia/MT. *In:* SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014, Campo Grande. **Anais [...]**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014. p. 446-457. Disponível em: <www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p71.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.

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. **RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 307-332 Disponível em:< http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/42454>. Acesso em: 02 mai. 2018.

GAO, Bo-Cai. 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.

HOLANDA, A. S. S.; GUERRA, C. E. Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no Município de Santarém- PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSIAS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife, 2010. Disponível em:<www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/FotoeSR/SR_e_PDI/A_92.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas de Bioma e Vegetação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://ww.2ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004bioamshtml.shtm>. Acesso em: 25 mar. 2018.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. RPPN Paculândia. 2017. Disponível em < http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/detalhe/464/>. Acesso em: 28 mai. 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 8, sensor OLI. Bandas 3, 4, 5 e 6. Data de passagem: 13 de setembro de 2017. 2017. Disponível em: <http://dgi.inpe.br/siteDgi/portugues/index.php>. Acesso em: 03 mai. 2018.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. Instituto do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL. Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN. 2021. Disponível em: https://www.imasul.ms.gov.br/reserva-particular-do-patrimonio-natural-rppn/. Acesso em: 28 mai. 2021.

MCFEETERS, S. K. The use of 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.

MILANEZ, B; FONSECA, I. F. O discurso da justiça climática no contexto brasileiro: possibilidades e perspectivas. *In:* MOTTA, R. S.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. (ed.). **Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. 2011. Disponível em: Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=10196. Acesso em: 28 mai. 2021.

OLIVEIRA, B. S.; GUIRRA, A. P. M.; MOTTA, J. S.; CARVALHO, I. S.; RODRIGUES, A. G. S.; PARANHOS FILHO, A. C. Índice de suscetibilidade à erosão linear em pastagem. *In:* PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D.; GAMARRA, R. M.; SILVA, N. M.; RIBEIRO, J. R. (org.). **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul, 2021. p. 205-223. ISBN 978-65-86010-62-6.

PEREIRA, G. H. A.; LOHMANN, M.; MAGANHOTTO, R. F.. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6 p. 1956-1968, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233731/27290. Acesso em: 28 mai. 2021.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 2.12.3 – Lyon. Open Source Geospatial Foundation Project. 2012. Disponível em: <http://qgis.org/downloads/>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ROSENDO, J. 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 e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005. 130p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Nasa Special Publication**, v. 351, n. 1974, p. 309-317, 1974.

SANTOS, S. A.; SORIANO, B. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; ABREU, U. G. P. Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. ADM – Artigo de Divulgação na Mídia, Corumbá: Embrapa Pantanal, n. 120, p. 1-3. 2007 Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/810627/1/ADM120.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

SORIANO, B. M. A. Estação climatológica de Nhumirim, Pantanal-MS. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2 p. 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP/56684/1/FOL04.pdf. Acesso em: 28 mai. 2021.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 13 de Agosto de 2000. 2000. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 23 de setembro de 2003. 2003. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 11 de agosto de 2005. 2005. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 19 de agosto de 2007. 2007. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 09 de setembro de 2009. 2009. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

USGS. U. S. Geological Survey. Imagem de satélite. Satélite LANDSAT 5, sensor TM. Órbita 226, Ponto 074. Bandas 2 e 3. Data de passagem: 29 de setembro de 2011. 2011. Disponível em: < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 03 mai. 2018.

VIGANÓ, H. A. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. INPE: Instituto Braisleiro de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 1828-1834. Disponível em:< http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1364.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

CAPÍTULO 5

USO DE ÍNDICES DE SENSORIAMENTO REMOTO NA QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS ÚMIDAS CONTINENTAIS

GUILHERME HOLLO DE ANDRADE
Mestrando em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, UNESP
guihollo@gmail.com

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANNY KELI APARECIDA ALVES CÂNDIDO
Doutora em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANA PAULA GARCIA OLIVEIRA
Doutora em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

CAMILA LEONARDO MIOTO
Doutora em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: For the conservation of areas with relevant environmental characteristics are the conservation units. In Brazil, they can be found in several environments, such as the Pantanal, considered one of the most important wetlands on the planet. Due to the complexity of the region, several procedures are employed to study it, such as remote sensing. The present work aimed to evaluate the vegetation cover of the Environmental Protection Area of Baía Negra, with the use of satellite images and spectral indexes. The vegetation index by normalized difference (NDVI) and the improved vegetation index (EVI) were analyzed, identifying which is the most recommended for use in areas with similar characteristics to the Pantanal. In the results, it was observed that EVI, despite of confusion in some points, is the most appropriate for the characterization of wetlands.

Keywords: Pantanal, vegetation index, land use, environmental monitoring.

RESUMO: Para a conservação de áreas com características ambientais relevantes estão as unidades de conservação. No Brasil, podem ser encontrados em diversos ambientes, como o Pantanal, considerado uma das mais importantes zonas úmidas do planeta. Devido à complexidade da região, diversos procedimentos são empregados para estudá-la, como o sensoriamento remoto. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental da Baía Negra, com a utilização de imagens de satélite e índices espectrais. Foram analisados o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de

vegetação melhorado (EVI), identificando qual é o mais recomendado para uso em áreas com características semelhantes às do Pantanal. Nos resultados, observou-se que o EVI, apesar da confusão em alguns pontos, é o mais adequado para a caracterização de zonas úmidas.

Palavras-chave: Pantanal, índice de vegetação, uso do solo, monitoramento ambiental

INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, as Unidades de Conservação (UCs) são áreas dotadas de características ambientais relevantes e tem como objetivo principal a conservação e proteção da área (BRASIL, 2000). A prática de criação de unidades de conservação iniciou-se em 1872, com a criação do Parque Nacional de *Yellowstone*, marco mundial da criação de áreas destinadas à proteção ambiental (MILANO, 2001). No Brasil, o interesse pela proteção de áreas ambientais iniciou-se oficialmente em 1911, através da criação da Reserva Florestal no Território do Acre (BRASIL, 1911).

Dentre todas as categorias de unidades de conservação, a Área de Proteção Ambiental (APA), possibilita a integração do homem com a natureza, a qual estabelece a proteção ambiental de áreas importantes com o desenvolvimento sustentável, onde não é necessária a desocupação, mas sim uma readequação das atividades antrópicas praticadas na região. Tem como objetivos a proteção da diversidade biológica, o controle do processo de ocupação e a garantia da sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

Algumas unidades de conservação estão localizadas no Pantanal, bioma único, com vasta biodiversidade e complexidade em seus sistemas bióticos, com área variando entre 133.456 (ALVARENGA et al., 1984) e 168.000 km² (BRASIL, 1974). Dentre as características da região, o regime de inundação sazonal se destaca, sendo esse o fator ecológico fundamental da planície pantaneira e que determina os pulsos dos principais processos bióticos e abióticos, além das composições específicas das unidades de paisagem (ADÁMOLI, 1995).

O monitoramento de áreas com grande extensão e complexidade exige o uso de diferentes técnicas de estudo. Para aplicação de decisões conservacionistas que abrangem diversas escalas de estudo estão disponíveis ferramentas e técnicas, entre elas as geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIGs) (POIANI et al., 2000).

De acordo com Shimabukuro et al. (1998), alterações na cobertura vegetal do solo podem ser detectadas através da análise de índices de vegetação, obtidos por meio de operações matemáticas entre as bandas espectrais das imagens, principalmente o vermelho e o infravermelho próximo. Dentre os índices de vegetação mais empregados, destacam-se

o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index – EVI).

Nesse contexto, teve-se como objetivo desta pesquisa realizar a análise ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) Baía Negra, identificando as alterações ocorridas em tal região e em seu entorno, através da utilização de índices de vegetação, como o EVI (Índice de Vegetação Melhorado) e o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Com isso, espera-se determinar qual dos índices é o mais indicado a ser empregado na área em específico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A APA Baia Negra (Figura 1) foi criada através do Decreto 1.735, de 07 de outubro de 2010, pelo Poder Executivo do Município de Ladário, MS, tornando-se a primeira Unidade de Conservação de Uso Sustentável no Pantanal, a qual concilia a preservação ambiental e a sobrevivência das populações tradicionais (LADÁRIO, 2010). Possui área de aproximadamente 6.000 ha pertencentes ao Pantanal Sul-Mato-Grossense, área de importância ambiental devido ao seu bioma único, sendo a pecuária extensiva e o turismo recreacional as principais utilizações da área onde se insere tal UC (FIBRACON, 2016).

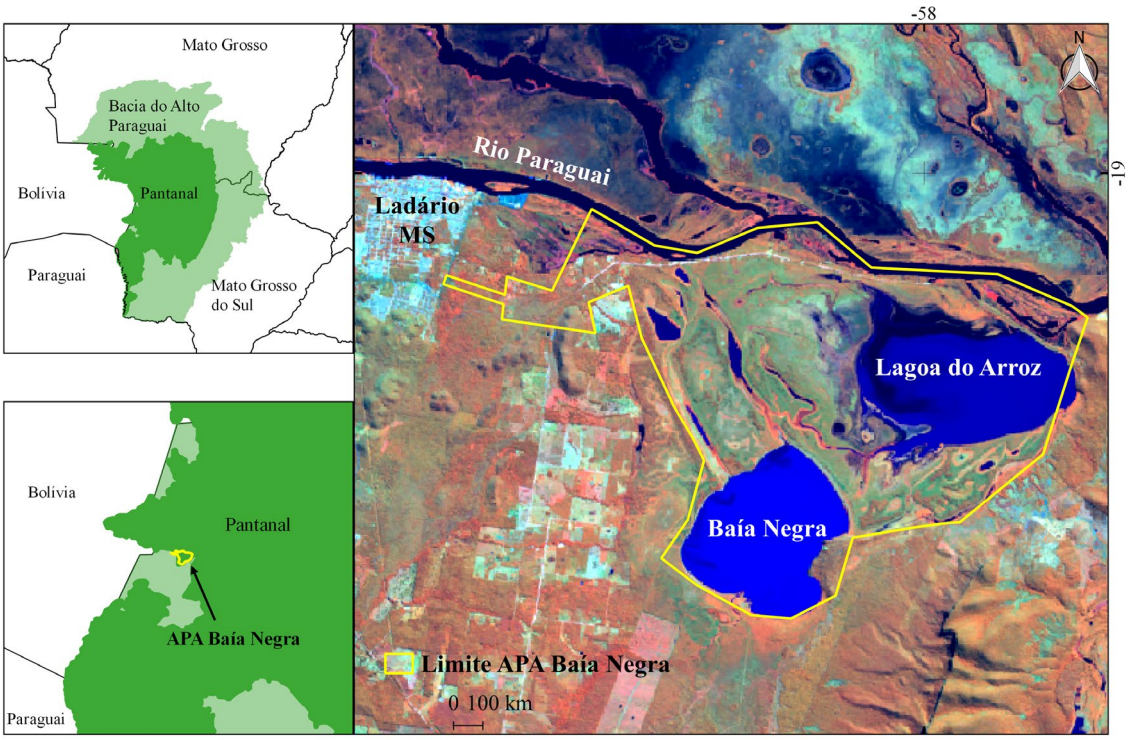


Figura 1. Mapa de Localização da APA Municipal Baia Negra sobre imagem do satélite Landsat 8 (RGB 564) (EARTH EXPLORER, 2015)

A área apresenta dois grandes reservatórios naturais de água: a Baía Negra e Lagoa do Arrozal, ambas alimentadas pelo Rio Paraguai. A Baía Negra é assim chamada devido aos nutrientes e carga orgânica provenientes da Lagoa do Arroz, o que altera a coloração da água, exibindo um tom mais escuro quando comparado à Lagoa do Arroz. É uma região rebaixada, cercada por um relevo mais elevado, montanhoso a leste (Figura 2).

Destaca-se a importância da região por integrar a zona de transição da Reserva da Biosfera do Pantanal, áreas de extrema relevância para a conservação da biodiversidade, pois ligam habitats importantes (FIBRACON, 2016).

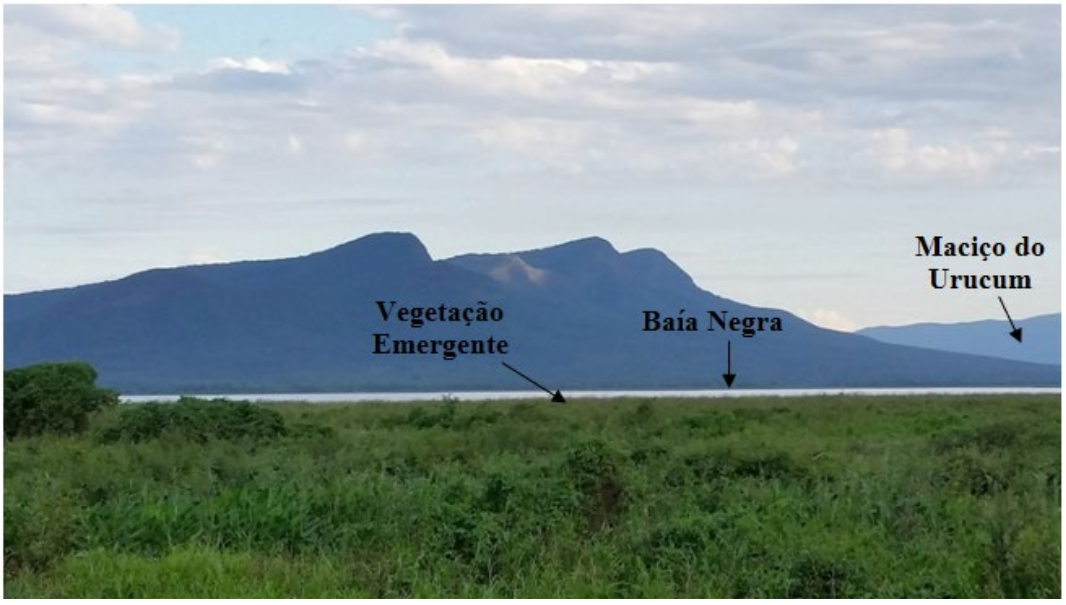


Figura 2. Foto da APA Baía Negra, destacando o relevo montanhoso ao fundo junto ao Maciço do Urucum. Fonte: Fibracon - Fotografia capturada em 19 de maio de 2015

Processamento dos dados

Para a análise ambiental da APA Baía Negra foram empregadas imagens de satélite da série Landsat, disponíveis de forma gratuita no *site* do *EarthExplorer* (https://earthexplorer.usgs.gov/). De modo a visualizar a cobertura do solo de melhor forma, utilizaram-se imagens coletadas durante o período de seca do Pantanal, referentes aos meses de julho a agosto. Assim, foram selecionadas imagens dos anos de 2008, 2011 e 2015, nos meses de agosto (anos de 2008 e 2015) e setembro (ano de 2011), todas pertencendo à órbita-ponto 227/073 (USGS, 2008, 2011, 2015).

Optou-se pela utilização de imagem Landsat 5, sensor TM, do ano de 2008 (EARTH EXPLORER, USGS, 2008) por ser datada anteriormente à criação da APA Baía Negra, proporcionando assim a visualização da realidade antes da área se tornar protegida.

O processamento de dados foi realizado pelo *software* gratuito QGIS 2.8.3 Wien (QGIS Development Team, 2015). Para a obtenção dos índices de vegetação efetuou-se

se a correção atmosférica das bandas através da ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), criada por Congedo (2013).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi criado por Rouse et al. (1974), sendo obtido através da Equação 1. Tal índice responde conforme a variação de clorofila na vegetação, portanto, quanto maior for à concentração de clorofila presente na vegetação, maior será o contraste. O NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho. Destaca-se que tal procedimento foi realizado em todas as imagens analisadas.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Onde: NIR corresponde à banda espectral do infravermelho próximo; R corresponde à banda espectral do vermelho.

Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, onde os valores negativos indicam áreas com estresse hídrico e valores positivos indicam vegetação densa, exuberante; já valores próximos a zero indicam solo exposto (Jensen, 2009). Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas através da utilização desse índice para a verificação da saúde da vegetação. Tem sido empregado, por exemplo, para detectar as variações sazonais e fenológicas, mudanças fisiológicas das folhas em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos (Ponzoni e Shimabukuro, 2009).

Segundo Huete et al. (1997), o índice de vegetação melhorado (EVI) permite o melhor monitoramento da vegetação através da redução de substrato do dossel e da influência da atmosfera. Tal índice propõe otimizar o sinal da vegetação, sendo mais sensível em regiões com elevada concentração de biomassa, melhorando as interferências do solo e atmosférica (Rodrigues et al., 2013).

A resposta do EVI baseia-se conforme a estrutura física da vegetação, como, por exemplo, quanto maior a copa de uma planta presente na imagem, maior será o contraste desta. O cálculo do EVI pode ser feito conforme a Equação 2:

$$EVI = G(NIR - R) / (L + NIR + C1xR - C2xB) \quad (2)$$

Onde: NIR corresponde à banda espectral do infravermelho próximo; R corresponde à banda espectral do vermelho; C1 e C2 correspondem aos coeficientes de ajuste da influência dos aerossóis; B corresponde à banda espectral do azul; e L corresponde ao ajuste de fundo do dossel vegetal. Os coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI correspondem a L = 1; C1 = 6; C2 = 7,5 e G = 2,5 (Huete et al., 1994, 1997).

De modo a identificar as diferentes coberturas do solo da região de estudo, empregaram-se as imagens Landsat dos referidos anos, na composição falsa-cor RGB 453 para as imagens dos anos de 2008 e 2011 (Landsat 5, sensor TM) e em composição RGB 564

para o ano de 2015 (Landsat 8, sensor OLI). Por meio dessa composição, foram selecionadas amostras de cada classe de cobertura, sendo tais amostras sobrepostas aos produtos NDVI e EVI, obtendo-se assim o intervalo dos valores mínimos e máximos dos índices para cada classe. A partir dos intervalos, os produtos NDVI e EVI obtidos foram reclassificados através do método de fatiamento na calculadora raster.

As imagens classificadas receberam filtro para homogeneizar os pixels, através da ferramenta *Majority Filter* (Conrad, 2010) e está inclusa nos algoritmos *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA), que eliminou os pixels isolados presentes nas imagens.

O produto filtrado foi recortado utilizando como camada máscara o arquivo contendo os limites da APA após receber um buffer de 5 km. O novo recorte de imagem foi vetorizado utilizando a ferramenta de conversão *raster to vector*. Após o processo de vetorização foi possível realizar a classificação manual dos vetores, onde as áreas formadas foram analisadas e aquelas que não representavam a verdade terrestre foram reclassificadas para a sua classe pertencente.

No término da reclassificação, as áreas de interesse foram reduzidas a 5 classes através da ferramenta *dissolver*, a qual agrupa todos os vetores de acordo com valores de atributos idênticos. Para o cálculo de cada uma das áreas foi utilizada a expressão “$area” através da calculadora de campo, presente na tabela de atributos do arquivo vetorial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa constatou-se a realidade local através de fotografia, como exemplo na Figura 3, a qual detalha a vegetação in situ. As quais auxiliaram na identificação das classes nas imagens de satélite e nas áreas representadas nos valores dos índices EVI e NDVI.

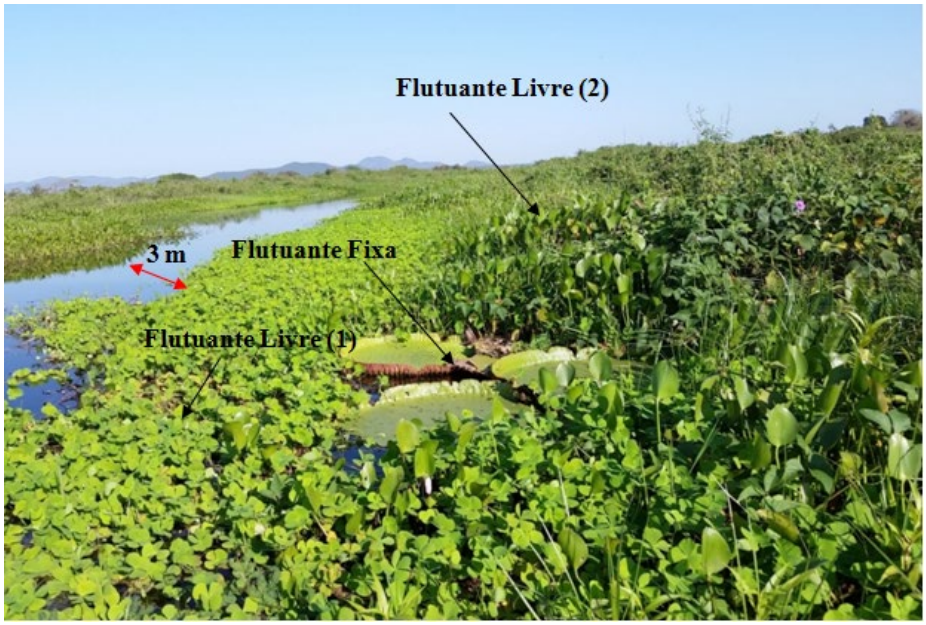


Figura 3. Vegetação do local de estudo indicando três tipos de macrófitas presentes nas massas d'água. A flutuante (1) se refere ao alface-d'água (Pistia stratiotes). A flutuante fixa se refere a Vitória-Régia (Victoria amazonica) e a flutuante (2) ao Aguapé (Eichornia crasspies). Fonte: Fibracon (2015). Capturada em 07 de agosto de 2015

Na segunda etapa, através dos produtos NDVI e EVI foi possível verificar que as imagens EVI apresentam maior contraste entre as áreas alagadas e não alagadas, conforme Figura 4. Tal fato que indica maior sensibilidade do EVI para áreas alagadas em relação ao NDVI.

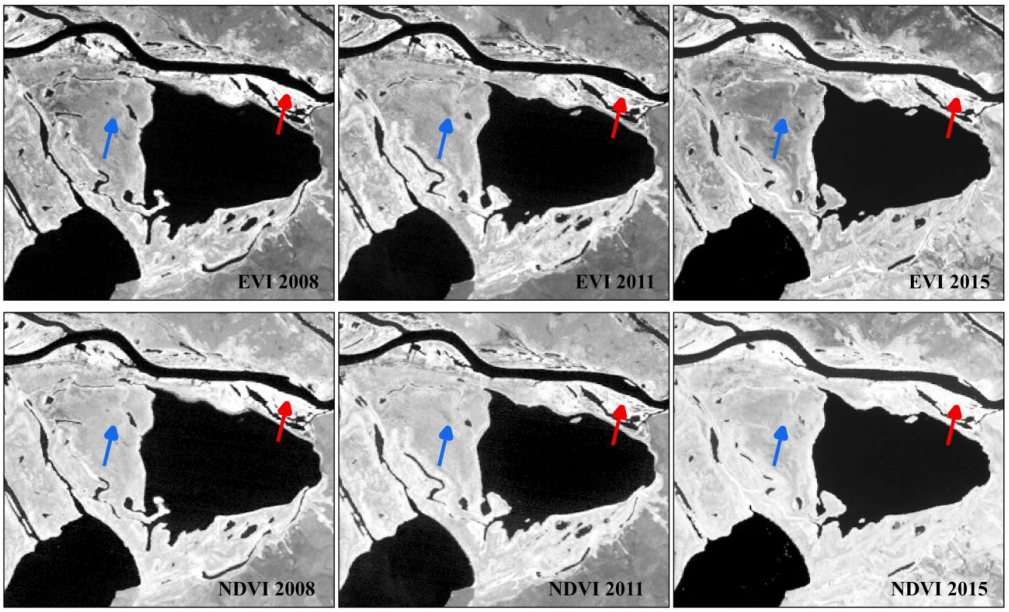


Figura 4. Resultados dos índices EVI e NDVI para os anos de 2008, 2011 e 2015. As setas azuis presentes nos índices EVI e NDVI, indicando áreas mais claras, representam vegetação densa e as setas vermelhas, indicando áreas em tons de cinza escuro, representam regiões úmidas. É possível observar que o contraste entre os tons de branco/preto é maior para os índices EVI quando comparados com o NDVI

Com base na análise das imagens compostas é possível estabelecer valores médios de reflectância do EVI e NDVI para cada área de interesse, em relação à área representada na prática. Como por exemplo, as áreas com tonalidade vermelha mais intensa remetem à vegetação mais densa. Na Figura 5 apresenta uma área identificada como vegetação e área úmida na imagem composta de 2011, comparando-a com o EVI e NDVI da mesma imagem. Onde o EVI foi marcado por uma variação mais densa que o NDVI, indicando valores maiores nas áreas úmidas esbranquiçadas e menores nas áreas mais escuras. Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento. O índice de vegetação melhorado (EVI) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação através de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas. (JUSTICE et al., 1998).

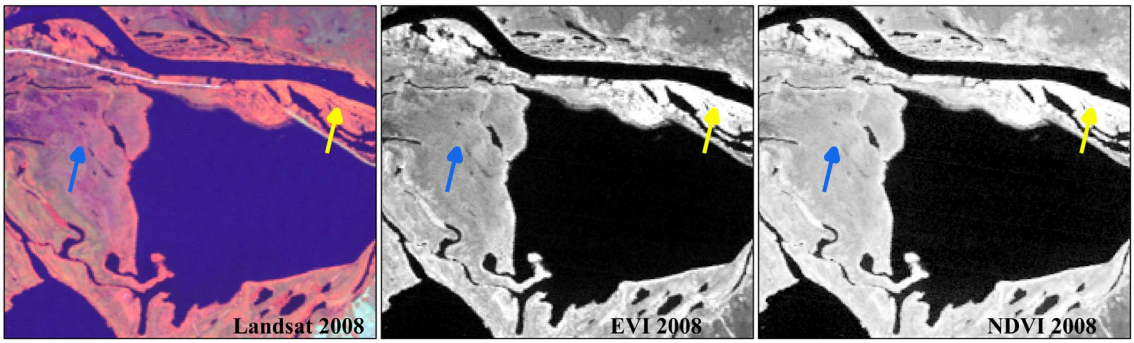


Figura 5. Identificação de área úmida (seta azul) e vegetação (seta vermelha) na imagem em composição falsa-cor 453 e sua resposta nos índices EVI e NDVI, respectivamente. É possível identificar diferença no contraste entre o EVI e NDVI, sendo que o EVI apresenta maior contraste para áreas úmidas, enquanto o NDVI apresenta melhor contraste quando trata da vegetação

Assim, com base nas imagens compostas em falsa-cor, foram identificadas na área de estudo as seguintes classes de cobertura do solo: corpos d'água, áreas úmidas, solo exposto, matas e campo. A classe corpos d'água representa a hidrografia do local; áreas úmidas representam áreas alagadas e/ou parte da vegetação ciliar e aquática. A classe de solo exposto representa áreas com expostas, além de englobar parte das pastagens que foram assim classificadas devido à alta reflectância.

Contudo a classe de matas representa vegetação mais densa, matas ciliares, cerrado mais denso e/ou parte da vegetação ciliar e aquática; campo representa parte das pastagens não classificadas como solo exposto e vegetação menor como cerrado. Segundo Abdon et al. (1998) convém salientar que o Pantanal é uma região muito complexa em diversidade de tipo de vegetação. Pequenas variações no terreno, podendo ser de centímetros na altitude e de metros no sentido horizontal, ocasionam variações significativas na vegetação. Da margem de uma baía ao topo de uma cordilheira, é possível encontrar campo, campo cerrado, cerrado e cerradão, num espaço aproximadamente de 250 metros

e altitude entre O a 2 m. Esta complexidade dificulta a discriminação e espaialização da vegetação, exigindo cada vez sensores mais poderosos.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as áreas classificadas conforme os índices EVI e NDVI para os anos de 2008, 2011 e 2015, respectivamente.

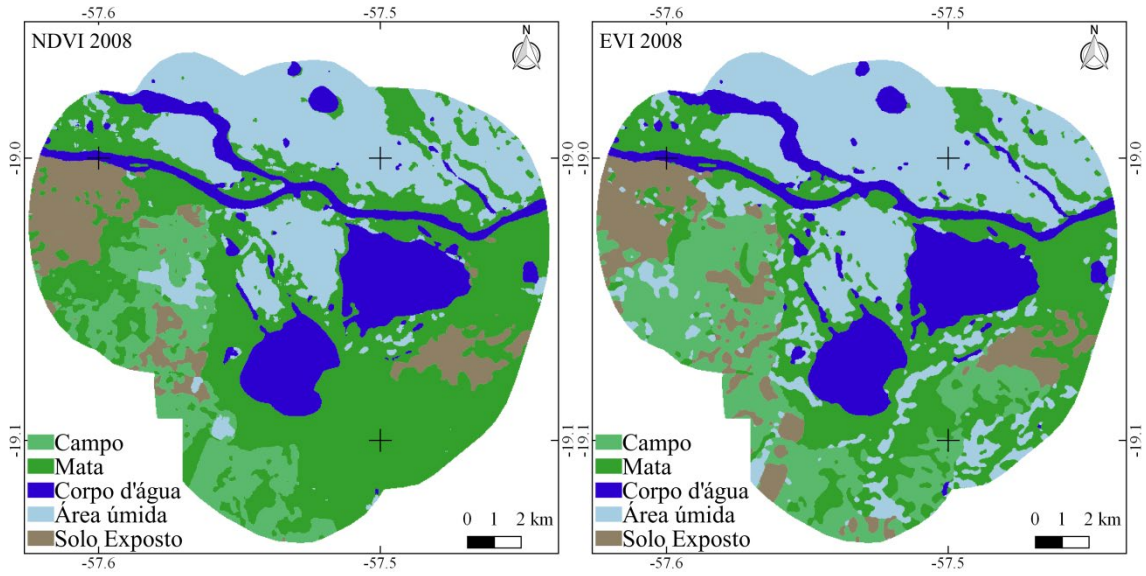


Figura 6. Classificação dos índices NDVI (à esquerda) e EVI (à direita) para o ano de 2008

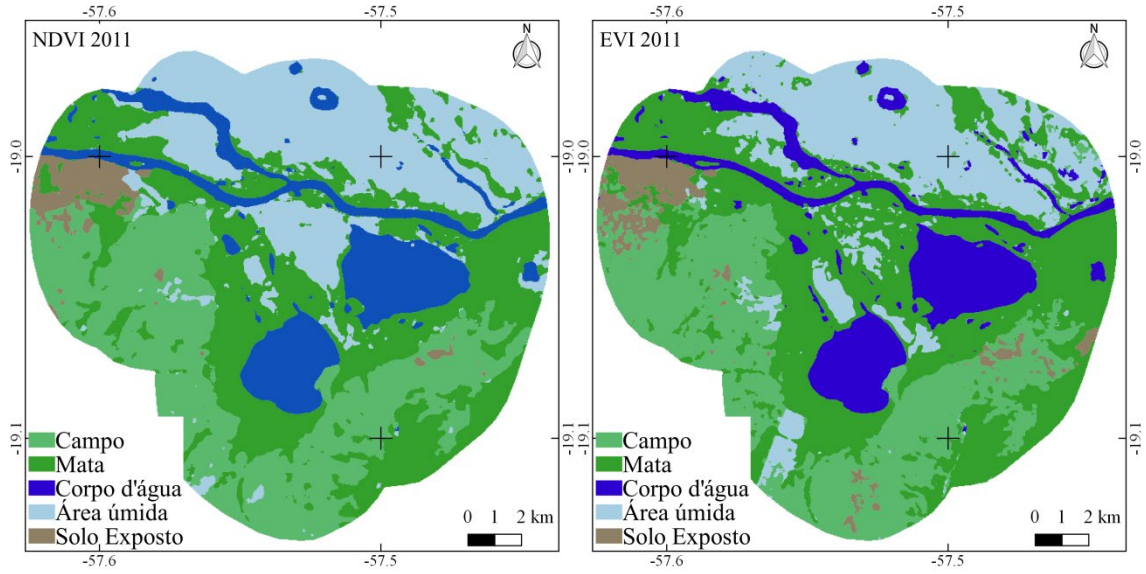


Figura 7. Classificação dos índices NDVI (à esquerda) e EVI (à direita) para o ano de 2011

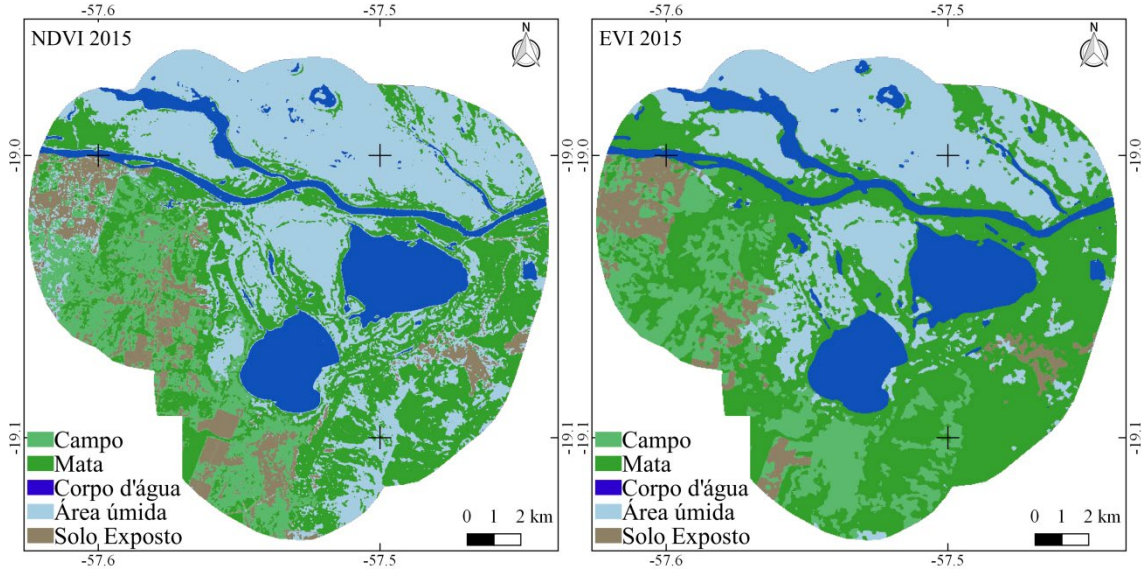


Figura 8. Classificação dos índices NDVI (à esquerda) e EVI (à direita) para o ano de 2015

A Tabela 1 apresenta as porcentagens estimadas para cada classe de cobertura encontrada para os índices de vegetação de acordo com os intervalos dos valores mínimos e máximos dos índices. De forma geral, a maior discrepância entre os valores de NDVI e EVI encontrados refere-se ao ano de 2015. As classes de cobertura que apresentaram menor discrepância entre os valores de NDVI e EVI, quando comparados ano a ano, referem-se às classes de corpos d'água e solo exposto. Já a classe que apresentou maior diferença entre os índices de vegetação analisados refere-se à classe de mata.

Tabela 1. Área estimada para cada classe de cobertura do solo obtida para os índices NDVI e EVI, entre os anos de 2008, 2011 e 2015

Classe de Cobertura (%)	2008		2011		2015	
	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI
Área Úmida	22.34	31.31	23.63	18.39	37.74	23.36
Mata	43.17	27.36	32.63	37.54	30.63	47.7
Corpos d'Água	14.35	15.23	13.6	13.19	12.05	13.56
Campo	10.86	16.72	27.12	26	11.9	10.65
Solo Exposto	9.28	9.38	3.02	4.87	7.68	4.72

Analisando-se a imagem de satélite e o resultado do NDVI e EVI (Figura 9) para o ano de 2008, percebe-se que em alguns pontos o EVI apresentou confusão, considerando como área úmida locais que, na verdade, referem-se a áreas de campo. Por esse motivo, há maior porcentagem em área úmida para o EVI (31,31%) em relação ao NDVI (22,34%). Segundo Goltz et al. (2007) que fez estudos no Pantanal do Paiaguás e Nhecolândia com MOD13 (índice de vegetação) do sensor MODIS entre os anos 2000 e 2005, onde foi analisado o NDVI e o EVI, o EVI realmente é mais sensível a mudanças de cobertura e consegue destacar melhor as drenagens na área de estudo. Machado et al. (2009) também utilizou

EVI para avaliar alvos e detectar alterações do uso e cobertura do solo, onde o mesmo se mostrou eficiente na separação de corpos hídricos e solo alagado.

A maior discrepância ocorreu para a classe de mata, com uma diferença de aproximadamente 16% entre os índices (43,17% - NDVI; 27,36% - EVI). Tal fato é compreendido por o NDVI considerar regiões de campo como áreas de mata. Também pode se basear no estudo de Antunes e Esquerdo (2007) onde se sugere que NDVI pode ser utilizado para avaliar as no vigor da vegetação em regiões Pantaneiras.

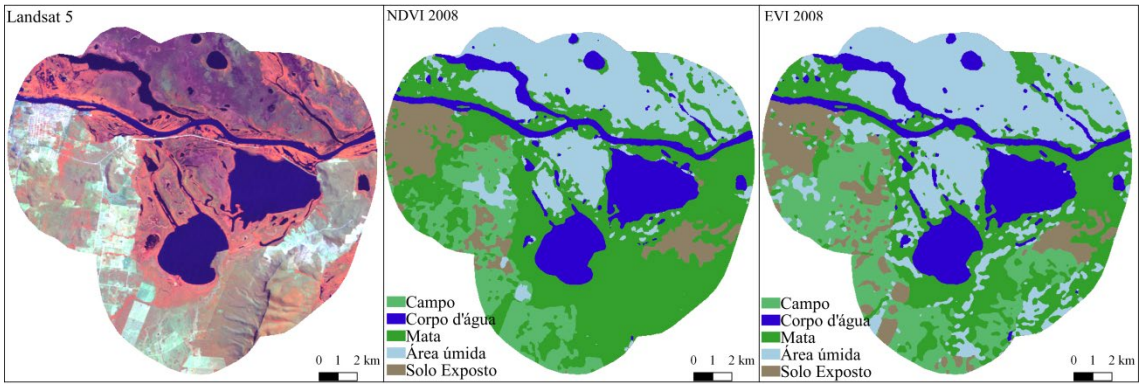


Figura 9. Ao comparar os índices encontrados com a imagem de satélite para o ano de 2008, percebe-se que o EVI considerou como área úmida regiões que são campos. Além disso, o NDVI considerou como classe mata locais que correspondem a áreas de campo. Tais condições podem ser notadas na parte sudeste das classificações

Em relação ao ano de 2011, a variação entre a porcentagem de cada classe de cobertura do solo obtida através dos índices NDVI e EVI, foi pequena. A classe de área úmida apresentou maior diferença entre os valores, com 5% (23,63% - NDVI; 18,39% - EVI). A menor diferença deu-se na classe de corpos d'água (0,41%). Por Freitas et al (2007) índices como EVI, NDVI, NIR e MIR são capazes de representar o ciclo anual do regime hídrico que regem o Pantanal. Ao observar a Figura 10, nota-se que ambos os índices apresentaram confusão entre as classes de área úmida e solo exposto (região sudoeste). Entretanto, o EVI permitiu maior diferenciação na classe de solo exposto na região leste da imagem.

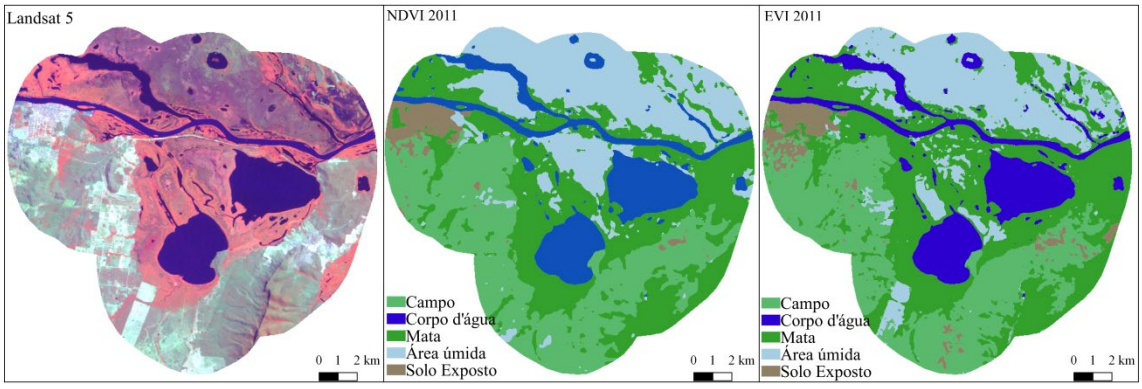


Figura 10. Ao comparar os índices encontrados com a imagem de satélite para o ano de 2011, percebe-se que ambos os índices confundiram área úmida com solo exposto. Porém, o EVI permitiu maior diferenciação com áreas de solo exposto. Tais condições podem ser notadas na parte sudoeste e leste das classificações

Como já mencionado, a maior diferença entre as classes de cobertura encontradas a partir dos índices de vegetação se deu no ano de 2015. A classe de mata foi a que apresentou maior variação, com 17% (30,63% - NDVI; 47,7% - EVI) e a classe de campo foi a que apresentou menor variação, com 1,25% (11,9% - NDVI e 10,65% - EVI). observa-se que o NDVI apresentou maior poder de discriminação das fitofisionomias dos diferentes ambientes analisados, quando comparados aos resultados obtidos pelos índices SR e TVI, principalmente quando se busca diferenciá-los em períodos sazonais.

Observando-se a Figura 11, é possível notar que o NDVI apresentou maior confusão na distinção entre as classes, classificando como área úmida locais que constituem matas e campos. Apesar de também apresentar alguns pontos equivocados, o EVI permitiu melhor diferenciação entre as classes de cobertura do solo. Por Chaves et al (2013) essa diferença já era esperada e é normal, podendo ser atribuída a alguns fatores. no que se refere à sensibilidade, o NDVI é sensível à presença de clorofila, já o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel.

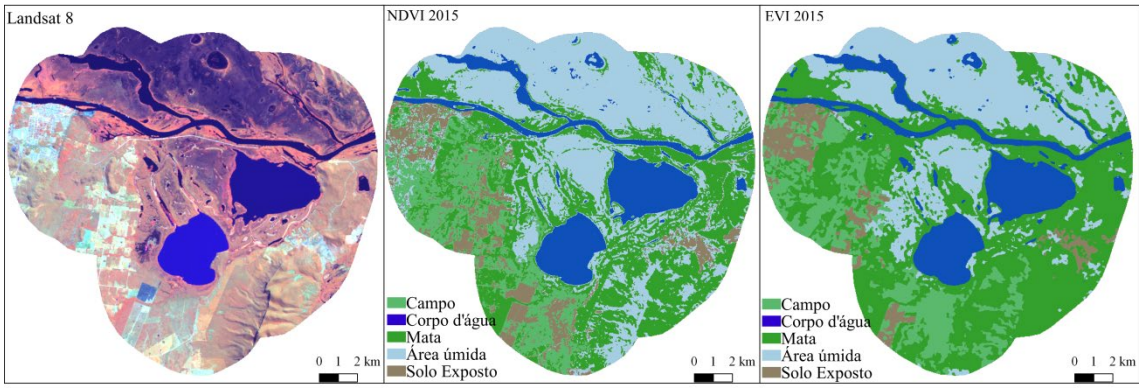


Figura 11. Ao comparar os índices encontrados com a imagem de satélite para o ano de 2015, percebe-se que o NDVI apresentou maior confusão para a adequada distinção entre as classes de cobertura do solo

Segundo Shimbanokuro et al. (1998) os índices de vegetação permitem o monitoramento da cobertura de solo da região do Pantanal. Nesse trabalho avaliando-se a modificação da cobertura vegetal na área como um todo, nota-se que entre os anos de 2008 e 2015 houve uma diminuição nas áreas de vegetação com o consequente aumento das áreas úmidas, principalmente ao redor das lagoas que formam a região. Isso pode ter acontecido devido ao fato de 2015 ter sido um ano mais chuvoso do que os anos anteriores observados.

CONCLUSÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi determinar qual dos índices de vegetação, EVI ou NDVI, é o mais indicado para se trabalhar em áreas úmidas como a da APA Baía Negra, além da classificação da cobertura do solo e quantificação das áreas.

Assim, através desse estudo verificou-se que o EVI, apesar de apresentar certa confusão, mostrou ser melhor para se utilizar nestas áreas, apresentado maior contraste entre vegetação e demais classes de cobertura.

De forma geral, as áreas classificadas pelo EVI e NDVI seguiram um padrão. No EVI, as áreas ocupadas por área úmida, corpos d'água, campo e solo exposto diminuíram, já a área ocupada por mata aumentou. Para o NDVI, as áreas ocupadas por área úmida e campo aumentaram e as áreas ocupadas por mata, corpos d'água e solo exposto reduziram.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos a CAPES pela bolsa de doutorado de César Claudio Cáceres Encina.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

Abdon, M.M.; Silva , J.S.V.; Pott, V.J.; Pott, A.; Silva, M.P. UTILIZAÇÃO DE DADOS ANALÓGICOS DO LANDSAT-TM NA DISCRIMINAÇÃO DA VEGETAÇÃO DE PARTE DA SUB-REGIÃO DA NHECOLÁNDIA NO PANTANAL. Pesq. agropec. bras., Brasilia, v.33, Número Especial, p.1799-1 813, out. 1998

Adámoli, J. (1995) Zoneamento ecológico do Pantanal baseado no regime de inundações. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, 1. 1995, Corumbá. Anais... Corumbá, 1995. p.15-17.

Antunes, J.F.G.; Esquerdo, J. C. D.M. GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE PRODUTOS DERIVADOS DE IMAGENS AVHRR-NOAA PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS DO PANTANAL. Revista Brasileira de Cartografia No 59/01, Abril, 2007

Brasil (1911) Decreto 8.843 de 26 de julho de 1911. Cria Reserva Florestal no Território do Acre. Rio de Janeiro, 26 de julho de 1911. Retirado de <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1910-1919/decreto-8843-26-julho-1911-579259-publicacaooriginal-102172-pe.html>. Acessado em 03/06/2017.

Brasil (1965) Lei Federal 4.771 15 de setembro de 1965. Código Florestal Brasileiro e suas alterações. Brasília, 15 de setembro de 1965. Retirado de <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acessado em 03/06/2017.

Brasil (2000) Lei Federal nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 de Julho de 2000. Retirado de <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acessado em 03/06/2017.

Chaves, M.E.D; Lázaro, A. da S.; Nassur, O.A.C.; Conceição, F.G. da. Utilização dos índices de vegetação EVI e NDVI como ferramenta de análise da dinâmica da vegetação no Parque Nacional da Serra da Canastra - MG. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

Congedo Luca, Munafò Michele, Macchi Silvia (2013). “Investigating the Relationship between Land Cover and Vulnerability to Climate Change in Dar es Salaam”. Working Paper, Rome: Sapienza University.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015

Conrad, O.: SAGA – Entwurf, Funktionsumfang und Anwendung eines Systems für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen, Dissertation, Faculties Natural Sciences, Mathematics and Informatics, Faculty of Geosciences and Geography, 221 pp., 2007.

EarthExplorer. Imagem de satélite. Landsat 8 – sensor OLI. Orbita 227 ponto 073. De 29 de setembro de 2015. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/.

EarthExplorer. Imagem de satélite. Landsat5 – sensor TM. Orbita 227 ponto 073. De 26 de agosto de 2008. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/.

EarthExplorer. Imagem de satélite. Landsat5 – sensor TM. Orbita 227 ponto 073. De 4 de setembro de 2011. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/.

Fibracon. 2015-05-19 16.05.41.jpg. (2015). Altura: 1836 pixels. Largura: 3264 pixels. 1,69 MB. Formato JPEG. Pen Drive.

Fibracon. 2015-08-07 08.29.17.jpg. (2015). Altura: 2112 pixels. Largura: 3184 pixels. 3,07 MB. Formato JPEG. Pen Drive.

Freitas, R.M.; Adami, M.; Sugawara, L.M.; Shimabukuro, Y. R.; Moreira, M.A. Dinâmica da resposta espectral de duas sub-regiões do Pantanal Sul–Matogrossense. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3921-3928.

Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. (2000). Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. Remote Sensing of Environment, n. 74, p. 609–620.

Huete, A.; Liu, H. Q.; Batchily, K..; Van Leeuwen, W.J.D.A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, V. 59, p. 440-451.

Huete, A.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 59: 440-451. Huete, A.; Justice, C.; Liu, H. 1994. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. Remote Sensing of Environment, 59: 224– 234.

Jensen, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 604 p., 2009.

Justice, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. Remote Sensing of Environment, v. 83, n, 1-2, p. 3 –15,2002.

Machado, C.C.; Oliveira T.H. de; Galvíncio, J. D.; Silva J. S. e. Utilização do EVI e Albedo da superfície para análise das mudanças ambientais emparte do município de Corumbá, MS e Ladário, MS . Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.460-469.

Milano, M. S. (2001) Unidades de conservação – técnica, lei e ética para a conservação da biodiversidade. In: Direito ambiental das áreas protegidas – o regime jurídico das unidades de conservação. Coord. Antônio Herman Benjamin. Rio de Janeiro: Forense Universitária. p. 3 a 41.

Mioto, C.L.; Albrez, E. do A.; Paranhos Filho, A.C. (2012) Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, n.8, p.165-180.

Poiani, K. A. et al. (2000). Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks. BioScience, v.50 p.133-146.

OTB Team, Open tools and methods for large scale segmentation of Very High Resolution satellite images, OGRS 2012.

Pott, V.J & Pott, A. (2000). Plantas Aquáticas do Pantanal. EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. Corumbá-MS. 404p.

Prefeitura Municipal de Ladário. Decreto nº 1.735/2010. Cria a Área de Proteção Ambiental Baia Negra e dá outras providências. Disponível em: https://www.ladario.ms.gov.br/uploads/asset/file/596/DECRETO-1735.pdf.

QGIS Development Team. (2015). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A., Shell, D.W., Deering and J.C., Harlan. (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 pp.

Rodrigues et al. http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0059.pdf.

Schrader, S. 8 Pouncey, R. (1997) Erdas Field Guide. 4. ed. Atlanta, EUA: Erdas Inc. 656 p.

Shimabukuro, Y.E., Novo, E.M., Ponzoni, F.J. (1998). Índice de vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral no monitoramento do Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, Número Especial, p.1729-1739, out. 1998.

USGS (2017) - Landsat Missions. What are the band designations for the Landsat satellites? Disponível em <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>. Acessado em 03/06/2017.

CAPÍTULO 6

PANTANAL: ONDE PESQUISAR? FONTES DE CONSULTA PARA A PLANÍCIE

RAYSSA APARECIDA PINHEIRO NOVELI
Geógrafa, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS
rayssapinheironoveli@gmail.com

LUCIANA ESCALANTE PEREIRA
Gestora Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

MAXWELL DA ROSA OLIVEIRA
Biólogo, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

ABSTRACT: One of the first steps in a survey is to consult on the data sources available for carrying out the work. This investigation process, depending on the data, can be very time consuming, since the information needed for a study may come from different databases on different platforms, may in some situations, realize that the necessary data does not exist or is not available. available. Considering this, in this chapter we seek to present sets of data sources, available on different digital platforms, that provide information about the Pantanal wetland, with the intention of contributing and serving as a guide and or support material for those seeking guidance about that region.

Keywords: Wetland Pantanal, Database, Environmental Data and Digital Platforms

RESUMO: Um dos primeiros passos em uma pesquisa é o de consulta sobre as fontes de dados disponíveis para a execução do trabalho. Esse processo de investigação, a depender dos dados, pode demandar muito tempo, visto que, as informações necessárias para um estudo podem ser provenientes de diferentes bancos de dados em diferentes plataformas, podem em algumas situações, perceber que o dado necessário não existe ou não está disponível. Considerando isso, neste capítulo nós buscamos apresentar conjunto de fontes de dados, disponíveis em diferentes plataformas digitais, que fornecem informações sobre o Pantanal, tendo assim, a intenção de contribuir e servir como um guia e/ou material de apoio para aqueles que procuram orientações sobre essa região.

Palavras-chave: Pantanal, Banco de dados, Dados ambientais e Plataformas digitais.

INTRODUÇÃO

A disponibilização ou compartilhamento gratuito de dados vem crescendo a cada dia, um crescimento que se deve à adoção de novas práticas de pesquisa aberta e ao desenvolvimento de novas políticas (Chavan e Penev, 2011). No Brasil, como mostra destas novas práticas e políticas, foi estabelecida a política de da-

dos abertos, que é um conjunto de documentos normativos que tem como um de seus objetivos a promoção e publicação de banco de dados de instituições federais. Outras ações ligadas ao compartilhamento gratuito de dados são publicações de artigos de dados (e.g. SOUZA et al., 2019) e a criação de banco de dados online de livre acesso, como o SpeciesLink (www.splink.cria.org.br) e o GBIF (www.gbif.org).

Essa política de dados abertos é legitimada pela Lei Federal 12.527 (Brasil, 2011), chamada de Lei de Livre Acesso, que regula e garante ao cidadão o direito a ter acesso a informações geradas nos órgãos públicos da administração direta ou indireta. No entanto, mesmo com requisitos legais e uma política estabelecida, ainda há dificuldades no acesso a dados e informações. Em parte, o desconhecimento é um dos entraves na aquisição de dados e informações. Uma das principais perguntas de quem está iniciando um estudo é: Existem dados disponíveis para a pesquisa? E, se tem, onde encontrar?

Com base nessas perguntas, pautadas em dificuldades experimentadas na prática, que apresentamos o capítulo, tendo o intuito de colaborar com a disseminação da informação e podendo ser um auxílio àqueles que possuem curiosidade e/ou realizam pesquisas na região pantaneira. Assim, neste capítulo iremos apresentar diferentes fontes e bancos de dados abertos que possuem alguns tipos de informações a respeito da planície pantaneira, tendo assim, o objetivo de mostrar e divulgar fontes de dados que disponibilizam informações do Pantanal.

Definições utilizadas

Primeiramente, é importante ponderar sobre os termos adotados nesta pesquisa e suas definições. Segundo o dicionário Michaelis (Weiszflog, 2000) dados são o conjunto de material (=informações) disponível para análise; ou ainda uma representação de fatos, conceitos e instruções, por meio de sinais de uma maneira formalizada, possível de ser transmitida ou processada pelo homem ou por máquinas. O mesmo Michaelis define informação como uma transmissão de notícias; comunicação; ou um parecer técnico dado por uma repartição ou funcionário.

O Brasil também conta com uma definição jurídica para um dos termos, que é apresentado na lei de livre acesso, lei 12.527, em seu art 4, inciso I, sendo informação considerada como dados, processados ou não, que podem ser utilizados para produção e transmissão de conhecimento, contidos em qualquer meio, suporte ou formato (BRASIL, 2011). É útil entender aqui o dado como matéria-prima da informação, ou seja, dado estaria no nível mais primário e informação em um nível secundário, havendo uma distinção semântica entre os dois (BECKER, 2015).

Ainda há o termo “dados abertos” onde aberto significa que qualquer pessoa pode acessar, usar, modificar e compartilhar livremente para qualquer finalidade (sujeito, no máximo, aos requisitos que preservam a procedência e a abertura), definido assim pela Open

Knowledge Foundation (Fundação de Conhecimento Aberto, https://okfn.org/) e adotado pelo portal brasileiro de dados abertos.

Essa ponderação sobre os termos se faz necessária para que seja compreendido o critério adotado para a consulta de material disponível na internet no âmbito do Pantanal. Essa consulta foi pautada em plataformas que disponibilizam dados abertos, utilizando-se aqui do conceito da Open Knowledge Foundation, e aquelas que disponibilizam informação, adotando-se o conceito apresentado pelo dicionário Michaelis.

Na opção de dados abertos foram analisadas as possibilidades de extensões para download oferecidas em cada portal, sendo estes divididos em dados: matriciais, vetoriais e tabulares. A seleção dos sites, plataformas e/ou portais digitais foi feita com base no conteúdo apresentado, assim, aqueles que, apesar de abordarem a temática ambiental, mas não possuíam nenhuma informação e/ou dado para o Pantanal foram desconsiderados.

Plataformas onde não foi possível a verificação da disponibilidade dos dados, seja porque o link estava “quebrado” ou por não conseguir encontrar o dado dentro da mesma, também foram desconsideradas. Dessa forma, todos os links de acesso listados no trabalho foram verificados. Ressalta-se que os dados elencados neste trabalho são aqueles fornecidos online de forma gratuita.

Plataformas digitais com disponibilidade de dados abertos

As plataformas mais utilizadas para aquisição de dados são, em sua maioria, de organizações públicas. Algumas destas organizações disponibilizam mais de um tipo de dado, a exemplo cita-se a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que dentro do rol de recursos hídricos disponibilizam dados sobre estações pluviométricas, bacias hidrográficas, comitês de bacia, vazão, entre outros. A Tabela 1 lista instituições que possuem dados disponíveis para download, sendo estes dados divididos de acordo com a plataforma onde é possível adquiri-lo, pois, há organizações que por oferecer dados em mais de uma temática, acabam trabalhando com mais de uma plataforma.

Tabela 1. Organizações e plataformas online com disponibilidade de dados abertos

Organização	Plataforma/Portal	Tema(s)	Link de acesso
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA	Catálogo de Metadados	Unidades de gestão de Recursos Hídricos, Regiões Hidrográficas, Pró Comitês, rios principais.	https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home
	Rede Hidrometeorológica	Estações pluviométricas e fluviométricas. Parâmetros relacionados aos rios.	http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx
Centro Nacional deMonitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden	Mapa interativo	Monitoramento de riscos de desastres naturais.	http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#
Centro de Referência em Informação Ambiental	specieslink	informação primária sobre biodiversidade que está disponível em museus, herbários e coleções microbiológicas	http://splink.cria.org.br
Climate.OneBuilding.Org	Climate.OneBuilding.Org	Arquivos de dados climáticos	http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html
Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais -CPRM	Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico do Brasil	Cartas geológicas, geologia regional, geodiversidade, hidrogeologia	http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html
	SIAGAS	Poços. Bacias hidrográficas. Estações Hidrometeorológicas. Domínios hidrogeológicos.	http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php?action=Est#
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA	Brasil em Relevo	Sensoriamento Remoto	https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/ms/ms.htm
European Space Agency	Copernicus	Sensoriamento Remoto	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
Exército Brasileiro	Banco de dados Geográficos do Exército	Cartas topográficas.	https://bdgex.eb.mil.br/mediador/
Fundação Nacional do Índio - FUNAI	Geoprocessamento	Terras Indígenas	http://www.funai.gov.br/index.php/shape
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA	Sistema Compartilhado de Informações Ambientais – Siscom	Sensoriamento remoto	http://siscom.ibama.gov.br/harpia/
	GeoServer	Banco de dados do IBAMA	http://siscom.ibama.gov.br/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage?2
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE	Banco de dados de Informações Ambientais	Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação	https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas	Espeleologia	https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html
	Geoprocessamento	Unidades de Conservação	https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos--das-uc-s
	Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural	https://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/login/?next=/

Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE	Catálogo de Metadados	Cataloga e integra diferentes bases de dados geoespaciais do governo brasileiro	http://www.metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/por/main.home
Instituto Nacional de Colonização da Reforma Agrária - INCRA		Certificação de imóveis. Projetos de assentamento. Quilombolas	https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py
Instituto Nacional de Meteorologia	Imagens de satélite	Meteorologia	https://satelite.inmet.gov.br/
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE	Catálogo de Imagens	Sensoriamento remoto	http://www.dgi.inpe.br/catalogo/
	Programa Queimadas	Monitoramento de queimadas. Risco de fogo.	http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal
Global Biodiversity Information Facility	Página inicial	Ocorrência de espécies de diferentes grupos taxonomicos em todo o globo	https://www.gbif.org/
Mapbiomas	Página inicial	histórico de Uso e ocupação do solo	https://mapbiomas.org/
Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação	Sistema de Informação sobre a biodiversidade brasileira - SiBBr	Biodiversidade	https://portal-espacial.sibbr.gov.br/spatial-hub/
Ministério do Meio Ambiente	i3GEO - Dados Geográficos	Geologia, vegetação, pedologia, geomorfologia, uso do solo e desmatamento da BAP. Biomas. ZEE-MS. UCs.	http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm
National Aeronautics and Space Administration - NASA	Dados da terra	Sensoriamento remoto	https://search.asf.alaska.edu/#/?isDlOpen=true&zoom=3&center=-97.493959,39.672786
Portal Brasileiro de Dados Abertos	Sistema de Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE	Processos minerários ativos. Áreas de proteção.	https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine
Protect Planet	Página inicial	Unidades de conservação em todo o globo	https://www.protectedplanet.net/en
RAMSAR	Ramsar Sites Information Service	Zonas úmidas de importância internacional	https://rsis.ramsar.org/
Serviço Florestal Brasileiro	SiCar	Dados do cadastro ambiental rural	https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index
United States Geological Survey - USGS	Earth explorer	Sensoriamento remoto.	https://earthexplorer.usgs.gov/
WorldClim	Página inicial	Dados climáticos históricos e futuros	https://worldclim.org/
World Soil Information	Soilgrids	Dados de pedologia e geologia para todo o globo	https://soilgrids.org/

As instituições listadas são aquelas que dispõem de dados da temática ambiental. Temática mais pertinente quando se trata do Pantanal. A disponibilidade gratuita de dados pode representar avanços na ciência por possibilitar a realização de estudos, que sem os bancos de dados seriam inviáveis, ou seja, são essenciais para o desenvolvimento científico no país. Além disso, disponibilizar os dados é uma forma de garantir maior segurança a eles, pois a descentralização destes evita que dados importantes sejam perdidos por alguma pane que ocorra no sistema elétrico, digital e afins, e, representam também uma forma de democratização do acesso à informação.

A maioria das organizações listadas são brasileiras e públicas, mostrando que a política de conceder livre acesso a dados no Brasil vem sendo construída progressivamente, como mencionado por Castro (2012):

> [...]pode-se dizer que o Brasil se destaca quanto ao provimento destas bases de dados, sobretudo as relacionadas aos biomas brasileiros, muitas das quais, inclusive, reconhecidas e acessadas internacionalmente, dinamizando a divulgação de informações e promovendo o incentivo quanto à ampliação e atualização do banco de dados nacional devido ao crescente número de usuários.

Entre os dados disponíveis para download nestas plataformas, pode-se agrupar os dados em três principais tipos: matricial, tabular e vetorial. Dados matriciais são os do tipo imagem, sendo fornecidos em diferentes extensões, entretanto, as extensões mais comuns são: JPEG, TIFF e PNG. A extensão CSV destaca-se entre os dados tabulares e extensão SHP nos dados vetoriais. Dos dados abertos listados neste capítulo, tem a sua maioria disponibilizada na forma vetorial, aproximadamente 44% (Fig. 1). Os dados tabulares representam 29% dos dados abertos e os matriciais cerca de 26%, sendo este último percentual representativo em grande parte das plataformas de sensoriamento remoto, visto que a prevalência são de imagens de satélite.

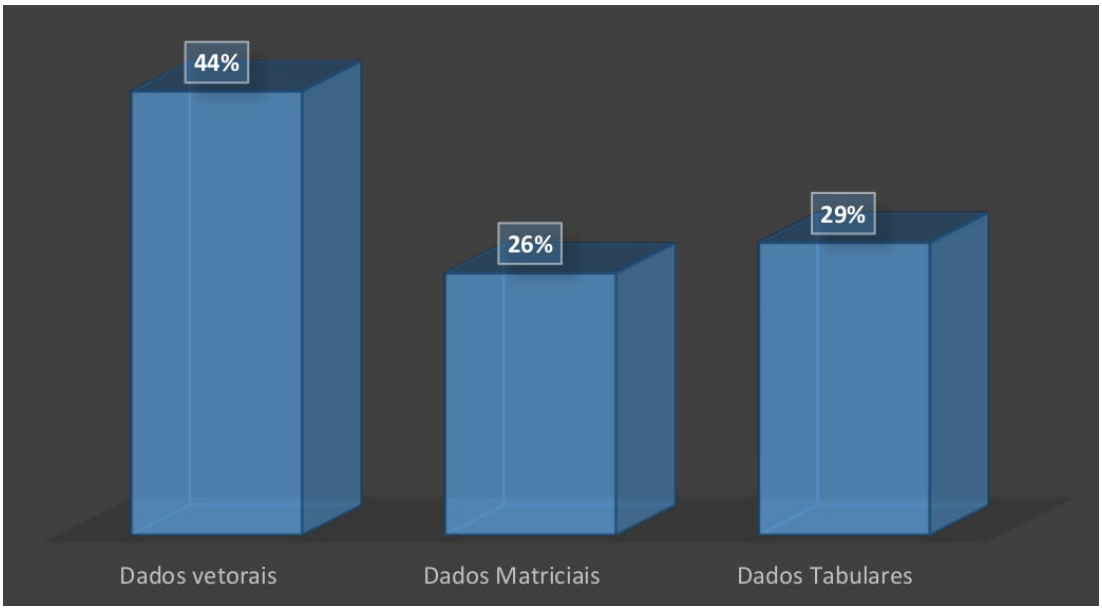


Figura 1. Percentual aproximado dos tipos de dados abertos disponíveis para o Pantanal

Menciona-se que nem todos os sites/plataformas que possuem dados para o Pantanal estão listados na tabela, entretanto, nos relacionados é possível encontrar uma variedade de abordagens ambientais, tanto nas organizações nacionais quanto nas internacionais. Além disso, o usuário pode buscar mais informações dentro do Portal Brasileiro (2021) de dados abertos que possui atualmente dados de mais de 190 organizações da administração pública, disponibilizados em mais de 40 formatos diferentes.

Até o momento foram apresentadas instituições que compartilham dados abertos com os usuários, porém, existem outras importantes plataformas digitais para quem deseja realizar consultas sobre a planície. Nestas plataformas é possível ter acesso a publicações científicas, mapas interativos e notícias. Mesmo não sendo possível realizar download de dados, essas plataformas também são pertinentes de mencionar neste trabalho.

Instituições com disponibilidade de informação

As Plataformas que dispõem de dados já processados, elencadas neste item, colaboram com a disseminação do conhecimento tanto para aqueles que não possuem conhecimento técnico para utilizar dos dados abertos disponíveis, quanto para os recém ingressados no universo da pesquisa. Partindo disso, foram elencados na Tabela 2 algumas plataformas que dispõem apenas de dados para consulta, sem que seja possível manipular ou modificar a informação, e suas respectivas instituições, priorizando aquelas que localizam-se no Pantanal, mas não se restringindo a isso. Salienta-se que o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais, da UFRJ, foi inserido nesta lista por produzir importantes informações sobre os incêndios no Pantanal ocorridos no ano de 2020.

Tabela 2. Organizações e plataformas online para acesso a publicações, relatórios, notas técnicas e outros tipos de conteúdos relacionados ao Pantanal

Organização	Plataforma/Portal	Link
Ecologia e Ação - ECOA	Página da instituição	https://ecoa.org.br
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Pantanal	Alice; BDPA	https://www.alice.cnptia.embrapa.br/; https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/
Instituto do Homem Pantaneiro – IHP	Página da instituição	https://www.institutohomempantaneiro.org.br/
Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Áreas Úmidas	Página da instituição	http://www.inau.org.br/publicacoes/
Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais - LASA/UFRJ	Área queimada - Pantanal 2020	https://lasa.ufrj.br/noticias/area-queimada-pantanal-2020/
Observatório Pantanal	Mapa interativo	https://observatoriopantanal.org/#!/gis_platform_section
SOS Pantanal	Página da instituição	https://www.sospantanal.org.br/
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS	Biblioteca Digital de Teses e Dissertações	https://repositorio.ufms.br/
Universidade Federal de Mato Grosso	Biblioteca e Repositório UFMT	https://bdm.ufmt.br/
Universidade Federal da Grande Dourados	Biblioteca UFGD	http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul	Biblioteca UEMS	http://www.uems.br/biblioteca
Universidade do Estado de Mato Grosso	Biblioteca virtual	http://caceres.unemat.br/portal/biblioteca/biblioteca-virtual-2/
WWF-Brasil	Página da instituição	https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/pantanal/

Como pode ser observado na Tabela 2, existem diferentes instituições de pesquisa que possuem o Pantanal como uma de suas principais áreas para o desenvolvimento de estudos, sendo estas compostas em sua maioria por instituições públicas e organizações não governamentais (ONG). Dentre as instituições públicas estão principalmente aquelas voltadas para a educação, a exemplo, foram listadas algumas universidades, tanto de nível federal quanto estaduais, sendo apresentado a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Ainda no âmbito público, também se destaca a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária que possui uma unidade descentralizada no estado de Mato Grosso, no município de Sinop, e três no estado de Mato Grosso do Sul, com destaque para a EMBRAPA-Pantanal localizada no município de Corumbá-MS e que tem na planície sua principal área de atuação. Essas instituições apresentam suas informações das mais variadas formas podendo ser por meio de publicações, relatórios, notas técnicas, entre outras.

Ademais, nota-se que as formas de apresentação destas informações disponíveis nas plataformas digitais vêm acompanhando as novas ferramentas de tecnologias, tornando-se mais dinâmicas e interativas. Os mapas interativos são uma amostra disso, estes funcionam como uma base de visualização instantânea da espacialização dos dados, gerando um resultado final imediato. Essa alternativa vem se popularizando graças a avanços de diferentes ramos da ciência, entre as quais destacam-se a informática e a geotecnologia.

Mapas interativos podem ser entendidos como interfaces computacionais que fornecem ao usuário mecanismos para interagir com a base de dados, como por exemplo, visualizar diferentes aspectos de um fenômeno, visualizar as informações em diferentes escalas, escolher a simbologia para visualizar as feições (Robbi, 2000). Alguns desses mapas têm o intuito apenas de informar, não sendo possível realizar o download de dados. Entretanto, mesmo quando o objetivo é somente o de trazer a informação, os mapas interativos se mostram muito pertinentes, sendo uma ótima ferramenta para a educação e transmissão de conhecimento.

Tavares (2008 p. 104) menciona que quando algo se movimenta em nosso campo de visão, a nossa atenção é despertada por esse evento e intuitivamente analisamos do que se trata esse acontecimento. Neste sentido, a possibilidade de interagir com a informação, despertando a atenção do usuário, torna os mapas interativos uma conveniente ferramenta. A Figura 2 exibe a interface interativa de dois diferentes mapas, cujo objetivo central é apenas espacializar os dados disponíveis nas plataformas, gerando desta forma uma imagem de apoio e consulta para o usuário.

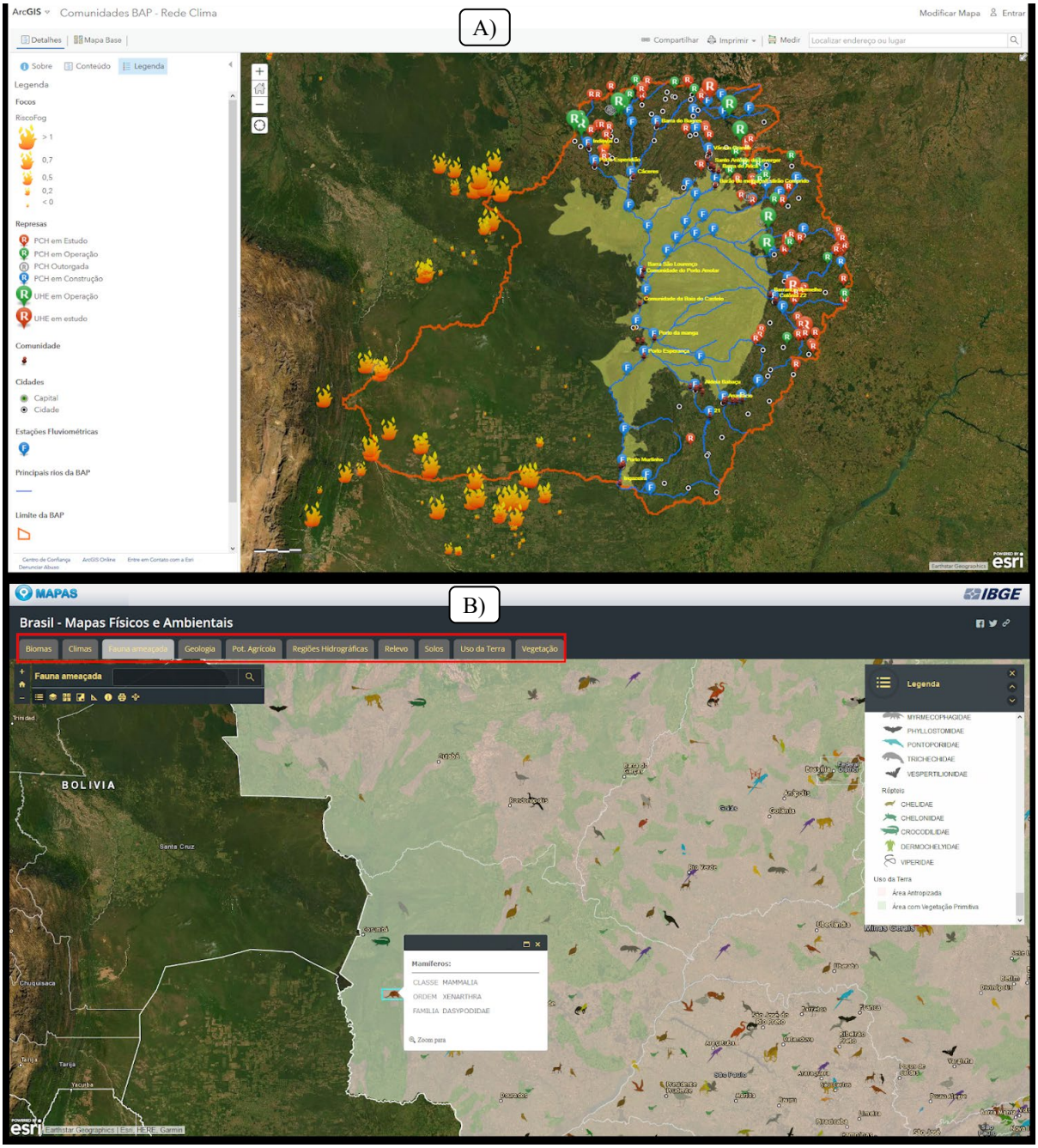


Figura 2. Mapas interativos da região pantaneira disponibilizados pelo IBGE e o outro pela ONG Ecologia e Ação (ECOA). O mapa produzido pela ECOA (A) fornece informações das comunidades e represas na Bacia do Alto Paraguai, já com o do IBGE (B) é possível ter diferentes tipos de informação, como: fauna ameaçada de extinção, clima, relevo, uso da terra, entre outros

Deste modo, a Figura 2, mostra que mesmo sem a possibilidade de baixar dados, os mapas interativos cumprem a função de transmitir informação a qualquer usuário, e, ainda possibilita que novas informações sejam construídas a partir da visão de quem o está utilizando. Assim, essas plataformas interativas são opções interessantes para obtenção de informações do Pantanal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a construção deste capítulo identificaram-se diferentes tipos de dados ambientais (hídricos, geológicos, vegetação, uso e ocupação do solo, entre outros) que são fornecidos nas plataformas online e que podem ser usados para a geração de novos dados. Entretanto, em sua maioria, as plataformas encontradas possuem dados que são elaborados para todo o território brasileiro ou em escala global. Assim, reconhece-se a inexistência de uma plataforma com dados abertos que tenha como foco principal o Pantanal, e que reúna todos os dados disponíveis existentes da região.

Nota-se desta forma que com uma plataforma voltada especificamente para a alocação de dados do Pantanal, o tempo de procura por dados e/ou informações em diferentes plataformas se reduziria, além de melhor retratar a realidade do bioma, proporcionando avanços no entendimento desta planície e sendo uma ferramenta útil para a conservação. Além disso, tal ferramenta auxiliaria aqueles que não possuem a expertise necessária para buscar e agrupar as informações alocadas em diferentes bases de dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

REFERÊNCIAS

BRASIL, 2011. LEI Nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Dispõe sobre acesso à informação pública. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12527.htm. Acesso em 23 de jan. de 2021.

BECKER, J. L. Estatística básica: transformando dados em informação. Bookman editora, 2015.

CASTRO, W. S.; FERREIRA, M. E. Bases de dados geográficas digitais no Brasil: formatos, acessibilidade e aplicações. Ateliê Geográfico, v. 6, n. 1, 2012. p. 92-122.

CHAVAN, V.; PENEV, L. The data paper: a mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. BMC Bioinformatics, v. 12 n. 1, 2011. https://doi.org/10.1186/1471-2105-12-S15-S2.

ROBBI, C. Sistema para visualização de informações cartográficas para planejamento urbano. São José dos Campos, 369 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE / Ministério da Ciência e Tecnologia. 2000.

SOUZA, Y. et al. ATLANTIC MAMMALS: a data set of assemblages of medium- and large-sized mammals of the Atlantic Forest of South America. Ecology, v. 100, n. 10, 2012. https://doi.org/10.1002/ecy.2785.

TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências. Ciências & Cognição, v. 13, n. 2, p. 99-108, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Brasil - mapas físicos e ambientais. Disponível em: http://mapasinterativos.ibge.gov.br/sigibge/. Acesso em: 23 de fev de 2021.

WEISZFLOG, W. Moderno dicionário da língua portuguesa. Edição exclusiva. Rio de Janeiro: Reader's Digest; São Paulo: Melhoramentos, Dicionários Michaelis, 2v, 2000. 2259 p.

PORTAL BRASILEIRO DE DADOS ABERTOS. O que são dados abertos. Disponível em: https://dados.gov.br/pagina/dados-abertos. Acesso em: 03 de mar de 2021.

CAPÍTULO 7

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ANÁLISE PÓS-INCÊNDIO DE VEGETAÇÃO NATURAL EM ÁREA ÚMIDA CONTINENTAL

HENRIQUE SILVA DE ANDRADE
Gestor Ambiental, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

RODRIGO MARTINS MOREIRA
Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, EESC/USP, Professor Adjunto da UNIR, Ji-Paraná, RO
rodrigo.moreira@unir.br

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

MARCO DIODATO
Doutor em Ciências Biológicas pela UFPR, Professor Associado da UFERSA, Mossoró, RN

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: The objective of this work was to monitor the environmental aspects of the Várzeas do Rio Ivinhema State Park after a fire event that occurred in October 2017. For this purpose, Landsat 8 satellite images were obtained to build the NDVI, NDWI indices, NBR and MSI, in order to analyze the environmental components: vegetation, water content in plant leaves and soil moisture. Monitoring was carried out in the months of October and November 2017, January and February 2018. The results allowed us to verify that there was loss of vegetation and water content in the leaves of the plants in the month of October, however in February these environmental components showed great recovery. These results showed a high correlation with rainfall levels that were higher from the month of October, which were obtained through the INMET platform for Ivinhema-MS station. However, the soil moisture, which in October also showed results of environmental stress in response to the fire event, did not show such positive results when compared to the other indexes, which implies that the recovery of the environment and its ecological processes is a complex process. and time consuming.

Keywords: NDVI, NDWI, MSI, fires, environmental management

RESUMO: O objetivo da realização deste trabalho foi monitorar os aspectos ambientais do Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema após evento de incêndio ocorrido no mês de outubro de 2017. Para esse fim, foram obtidas imagens do satélite Landsat 8, para construção dos índices NDVI, NDWI, NBR e MSI, no intuito de analisar os componentes ambientais: vegetação, teor de água nas folhas das plantas e umidade do solo. Foi realizado o monitoramento dos meses de outubro e novembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018. Os resultados permitiram verificar que havia perda de vegetação e teor de água na folha das plantas no mês de outubro, entretanto no mês de fevereiro estes componentes ambientais apresentaram ótima recuperação. Tais resultados apresen-

taram alta correlação com os índices pluviométricos que foram maiores a partir do mês de outubro, os quais foram obtidos através da plataforma do INMET para estação de Ivinhema-MS. Entretanto a umidade do solo, que em outubro também apresentou resultados de estresse ambiental em resposta ao evento de incêndio, não apresentou resultados tão positivos quando comparados aos demais índices, o que infere que a recuperação do ambiente e de seus processos ecológicos é um processo complexo e dispendioso de tempo.

Palavras-chave: NDVI, NDWI, MSI, incêndios, gestão ambiental

INTRODUÇÃO

Segundo Klink e Machado (2005) e dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2018) o Estado do Mato Grosso do Sul está situado entre os biomas Pantanal, Mata Atlântica e Cerrado, sendo este último característico de uma vegetação mais adaptada aos regimes de fogo. Mato Grosso do Sul está na posição de sexto estado com maior número de focos de incêndios do Brasil, resultado associado às condições climáticas, visto em que na maior parte do estado predominam os climas: Tropical Brasil Central quente e subquente, com médias de temperatura de 15 a 18º Celsius (C), com um a três meses secos (NIMER, 1979).

O clima contribui com a predisposição da região a incêndios de origem natural, visto que a fitofisionomia do Cerrado é composta principalmente por formações savânicas, que se referem a áreas com bastante estrato gramíneo, arbustos, e árvores espalhadas sem formação de dossel continuo (RIBEIRO; WALTER, 1998), o que impede a concentração de umidade, e favorece a formação de focos de incêndios em áreas de vegetação seca. Somado ainda aos eventos de incêndio de origem natural, têm-se os de origem antrópica, provocados intencionalmente para abertura de clareiras e aplicação de atividades agropecuárias (MAILLARD; PEREIRA; DE SOUZA, 2009).

De acordo com Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL (2008) com a necessidade de ações efetivas para a proteção de seus recursos naturais, o Estado de Mato Grosso do Sul criou em 1998 a sua primeira unidade de conservação, o Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema (PEVRI), através do Decreto Estadual? nº 9.278, de 17 de dezembro de 1998, com o objetivo de proteger os fragmentos florestais, os remanescentes de várzea e ecossistemas associados dos Rios Ivinhema e Paraná, e promover a conservação da diversidade genética e espécies ameaçadas de extinção, visando à utilização para fins de pesquisa científica, educação ambiental, e recreação.

A grande extensão que os parques possuem, requerem investimentos de recursos técnico e financeiro para sua proteção, o que pode se tornar um fator limitante para sua gestão ambiental eficiente e eficaz. Assim, surge a necessidade de aplicação de ferramentas que reduzam os custos e subsidiem os processos de tomada de decisão voltados ao monitoramento ambiental, neste cenário, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

apresentam métodos que aperfeiçoam processos de gestão ambiental de grandes áreas, com baixo custo, de maneira gráfica e de fácil interpretação, e produtos de alta confiabilidade (BURAPAPOL; NAGASAWA, 2017; SIRCA et al., 2017; NAMI et al., 2018; DA SILVA CARNEIRO; ALBUQUERQUE, 2019).

O presente trabalho inova ao aplicar, de maneira integrada, os índices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR), Normalized Difference Water Index (NDWI) e Moisture Stress Index (MSI), métodos que compõem medidas espectrométricas para obtenção de informações da vegetação, teor de água na folha das plantas e umidade do solo, a fim de verificar as respostas dos componentes ambientais após evento de incêndio.

Neste sentido, o objetivo dos pesquisadores foi monitorar a recuperação de áreas degradadas por incêndio do PEVRI por meio de sensoriamento remoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O PEVRI (Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema), com uma extensão de 73.345,15 hectares, está localizado na Bacia do Rio Paraná, entre as cidades de Jateí, Naviraí e Taquarussu em Mato Grosso do Sul. De acordo com Nimer (1979) o clima da região do PEVRI é classificado como Tropical Brasil Central subquente, característico de temperaturas médias de 15 a 18ºC em pelo menos um mês, com um a dois meses secos. Em uma pequena área do Parque, ao nordeste, o clima é classificado como Tropical Brasil Central quente, com temperatura média maior que 18º em todos os meses, com um a dois meses secos.

A vegetação do PEVRI é distribuída em floresta estacional semidecidual aluvial (12,91%), vegetação pioneira de influência fluvial (56,39%), floresta estacional semidecidual submontana + vegetação pioneira de influência fluvial (2,88%), pastagens + vegetação pioneira de influência fluvial + floresta estacional semidecidual + transição floresta estacional semidecidual/cerrado (19,23 %) e pastagem (1,38%) (IMASUL, 2008). Conforme dados do IBGE (2004), o PEVRI se encontra na região do bioma de Mata Atlântica, com fragmentos do bioma Cerrado, como mostrado na Figura 1.

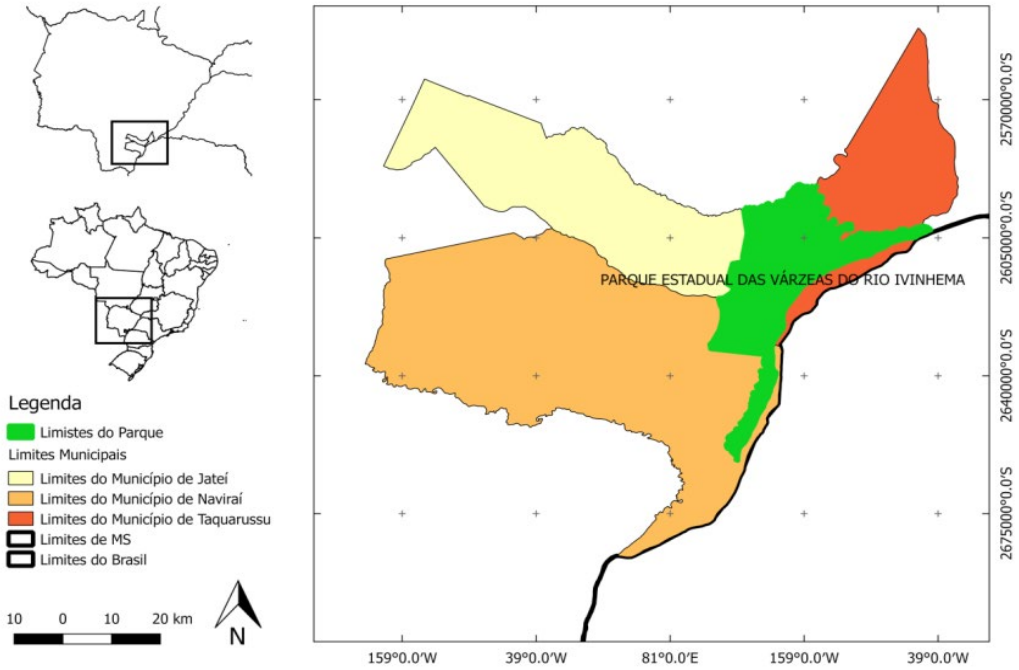


Figura 1. Mapa de localização do PEVRI. Fonte: IBGE (2010). Na região do PEVRI segundo os dados da EMBRAPA (2013), os solos predominantes são distribuídos em gleissolo hálico, argiloso vermelho-amarelo distrófico, latossolo vermelho distrófico e argiloso vermelho distrófico

Métodos de sensoriamento remoto e geoprocessamento

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnologias e Análise Ambiental (LAGAAmb) localizado na Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – Unidade de Coxim, onde inicialmente foram obtidas imagens do Satélite Landsat 8, através da plataforma United States Geological Survey (USGS), para Orbita/Ponto 224/76, (EARTH EXPLORER, 2018) referente aos meses de outubro e novembro do ano de 2017, e janeiro e fevereiro do ano de 2018, as quais foram processadas por meio da utilização do software livre QuantumGIS, versão 2.18.12 com a sobreposição do arquivo vetorial (shapefile) de delimitação do PEVRI (QGIS, 2018), para criação dos índices NDVI, NBR, NDWI e MSI, descritos nas seções seguintes.

O satélite Landsat 8 lançado em 2013, opera com os instrumentos Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), dando continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+ da Landsat Data Continuity Mission.

As imagens foram selecionadas de forma a representar a dinâmica da vegetação antes e após o evento de incêndio, sendo escolhidas as imagens dos dias: 24 de outubro de 2017, período de ocorrência do incêndio, 09 de novembro de 2017, 05 de janeiro e 21 de fevereiro de 2018, após ocorrência do incêndio, para monitoramento da recuperação ambiental.

Coleta dos dados de precipitação

Os dados de precipitação foram coletados através da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) da Estação: Ivinhema-A709, cujo código corresponde a OMM: 86860. A estação situada na cidade de Ivinhema Estado de Mato Grosso do Sul, foi escolhida por ser a que se localiza mais próxima do PEVRI. Os dados de precipitação foram coletados para os meses de outubro, novembro e dezembro do ano de 2017, janeiro e fevereiro do ano de 2018.

Métodos de elaboração dos índices

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI), em português Índice de Vegetação por Diferença Normalizada utiliza as bandas do infravermelho próximo (NIR – banda 5 no Landsat 8) e do vermelho (RED - banda 4 no Landsat 8), aplicando a equação abaixo, para verificação da cobertura vegetal, (NETA et al., 2018). Equação 1:

$$NDVI=((NIR-RED))/(NIR+RED) \quad (1)$$

O NDVI apresenta valores que podem variar entre -1 e 1, quanto mais próximo de 1 for o resultado a vegetação se caracteriza como mais densa e saudável, e quanto mais próximo de -1, pode-se haver ausência de vegetação, como corpos d'água, áreas degradadas, e solo exposto (ROUSE, 1973).

No que tange aos índices de vegetação o NDVI se apresenta como um dos mais apropriados, quando se pretende fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área, pois é esperado de ser menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas.

Normalized Burn Ratio (NBR)

O *Normalized Burn Ratio* (NBR) em português Razão de Queima Normalizada é um índice que dentro da divisão de bandas trabalha com as respostas espectrais das regiões do infravermelho-próximo (NIR - banda 5) e infravermelho médio (SWIR – banda 7) permitindo mapear e verificar o comportamento de áreas queimadas, através da aplicação da equação abaixo (MALLINIS; KOUTSIAS; 2012). Equação 2:

$$NBR= (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR) \quad (2)$$

O NBR apresenta resultados que váriam de entre -1 e 1, quanto mais proximo a - 1, mais a área sofreu com o evento de queimada e quanto mais proximo de 1 a área não sofreu eveto de queimada, ou apresentou uma recuperação vegetal muito alta.

Normalized Difference Water Index (NDWI)

O *Normalized Difference Water Index* (NDWI) em seu acrônimo em português Índice de Água da Diferença Normalizada se assemelha ao índice de vegetação NDVI, visto que este se baseia na curva de refletância da água. Para construção do NDWI são utilizadas as bandas do verde (Green) e do infravermelho próximo (NIR), aplicando a equação abaixo, (PEREIRA et al., 2018). Equação 3:

NDWI= (G-NIR)/(G+NIR) (3)

O NDWI apresenta grande importância em estudos relacionados à cobertura vegetal, permitindo a mensuração do teor de água na vegetação. Este índice pode ser utilizado para traçar correlações entre teor de água e saúde da vegetação, através de sua aplicação em conjunto com índices de vegetação, (MACHADO et al., 2014).

Segundo Gao (1996), o NDWI deve ser considerado um índice de vegetação independente, complementar ao NDVI, mas não substituto. O autor ainda descreve que o NDWI é menos sensível do que o NDVI em relação aos efeitos atmosféricos.

Moisture Stress Index (MSI)

O *Moisture Stress Index*, em seu acronimo em português, Índice de Estresse Hídrico, é aplicado dentro do campo de índices da divisão de bandas para calcular o teor de água nas folhas da planta e também mensurar o teor de água no solo, obtendo resposta de áreas com estresse hídrico e áreas onde não há estresse hídrico (HUNT; ROCK, 1989; WELIKHE et al., 2017). Para obter resultados de MSI, é necessário aplicar a Equação 4, utilizando as bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR – Banda 5) e do infravermelho de comprimento de onda curto (SWIR – banda 6) das imagens Landsat como mostrado na Equação 4.

MSI = SWIR (banda 6) / NIR (banda 4) (4)

A interpretação do MSI é relativamente simples e invertida comparada a outros índices, assim, valores mais baixos indicam menor ou nenhum estresse hidrico, e valores mais altos apontam maior estresse hídrico da planta, inferindo, menor teor de água no solo, (HUNT; ROCK, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme Machado et al. (2014), observou em seu trabalho os resultados dos índices de vegetação e de água analisados se apresentaram mais elevados períodos de maiores intensidades pluviométricas. Desta forma, no gráfico abaixo são apresentadas as

precipitações acumuladas para os meses analisados, buscando assim relaciona-los com os resultados de recuperação vegetal.

Visualizando a Figura 2, é possível observar que a precipitação no mês de outubro de 2017 foi muito baixa favorecendo a propagação dos focos de incêndio ocorridos neste período. Já a partir de novembro de 2017, com destaque para fevereiro de 2018, o volume mensal precipitado quase triplicou em relação a outubro de 2017 favorecendo o reestabelecimento da vegetação.

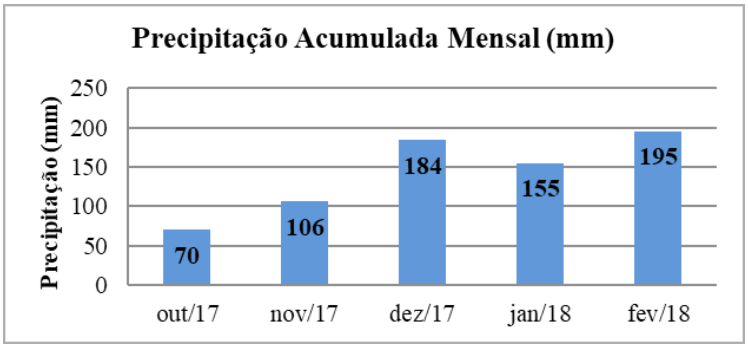


Figura 2. Precipitação Mensal Acumulada em Ivinhema-MS. Fonte: INMET (2018)

O NDVI é um dos índices mais usado em estudos de monitoramento das condições de vegetação, sendo aplicado nos mais diversos tipos de domínios morfoclimáticos do mundo (KE et al., 2015). A partir deste índice é possível realizar o monitoramento da composição vegetal e inferir o quão saudável ela se apresenta, bem como, elaborar análises multitemporais (DE AQUINO, 2016). Na figura 3 a seguir é possível verificar no quadro A que havia uma grande área impactada pelo evento de incêndio, abrangendo 20% e 22% da área total do PEVRI.

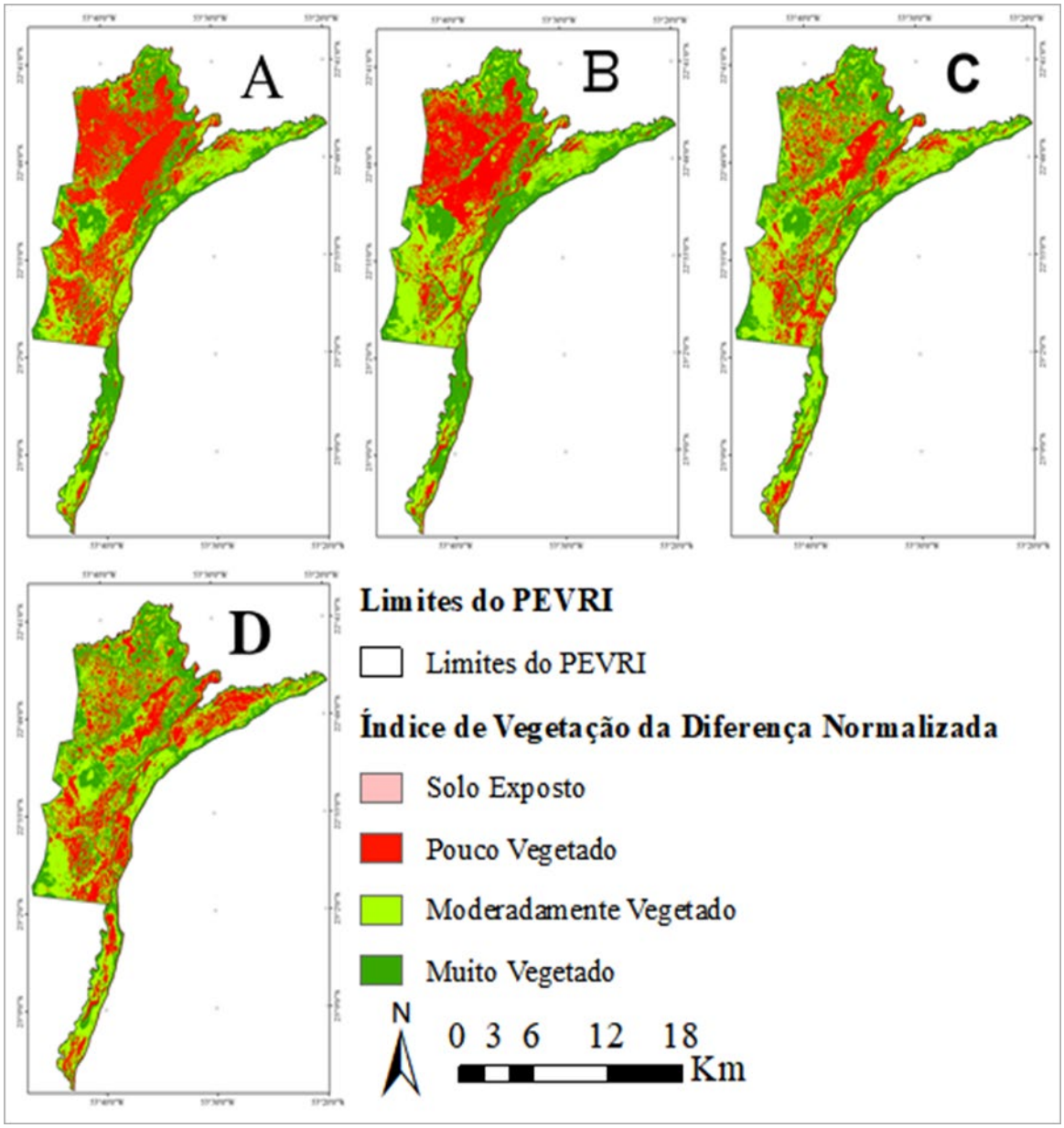


Figura 3. Monitoramento da cobertura vegetal com aplicação do NDVI. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Entretanto é perceptível que houve grande recuperação vegetal como ilustra a Figura 3 (Quadro D) e computa a Tabela 1, visto que no mês de fevereiro de 2018, a área sem vegetação se estendeu a somente 4% da área do PEVRI e a área com pouca vegetação a 25%. Neste período 71% da área do PEVRI, no que diz respeito à vegetação, se encontrou muito saudável e/ou em processo de recuperação.

Tabela 1. Distribuição percentual das classes de NDVI. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)				
Data	**Não Vegetado**	**Pouco Vegetado**	**Moderado Vegetado**	**Muito Vegetado**
24/10/2017	20%	22%	29%	28%
09/11/2017	9%	23%	35%	33%
18/01/2018	5%	20%	42%	34%
21/02/2018	4%	25%	41%	30%

Como aponta do trabalho de Machado et al. (2014) a recuperação vegetal está associada aos índices pluviométricos que se apresentaram mais elevados nos períodos seguintes ao evento de incêndio. Os valores apresentados pelo NDVI neste estudo podem ser observados na Figura 4.

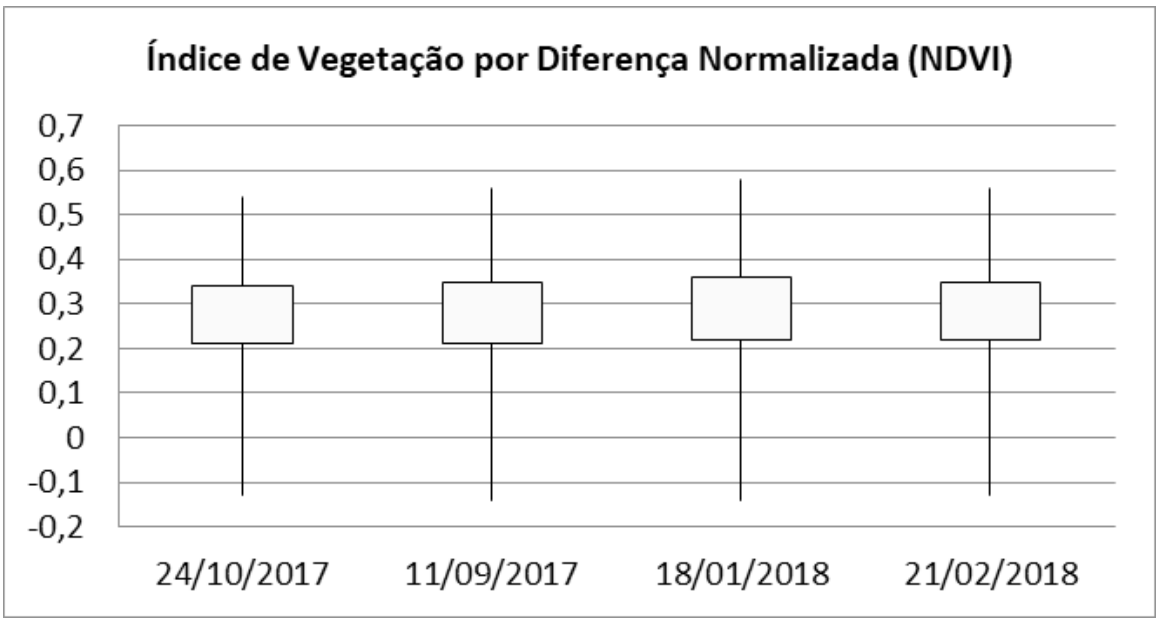


Figura 4. Valores para NDVI

Utilizando o índice NBR, é possível verificar as cicatrizes de queimada e calcular sua severidade, entretanto, a utilização deste índice neste estudo não se deu para verificar a severidade do evento, mas de maneira a complementar os índices de vegetação e de água, no monitoramento da recuperação vegetal. Como Rosan e Alcântara (2015), defendem o ΔNBR apresenta ótimo resultado na detecção de áreas queimadas e severidade do fogo, e os resultados deste índice podem ser potencializados quando aplicado conjuntamente com o NDWI, em virtude de que o NBR apresenta uma tendência a erros de classificação em áreas com alto teor de umidade, o que pode ser corrigido com a aplicação do NDWI.

Por meio do NBR, é possível verificar como o incêndio se propagou, sendo evidente que uma área ao norte do PEVRI foi mais afetada, porém os focos se alastraram para o restante do Parque, sendo visível cicatrizes de queimadas, como mostrado na Figura 5. Nos Quadros A e B da Figura 5, é possível observar os efeitos do incêndio, destacando o Quadro B, quando as cicatrizes de queimadas se apresentaram mais evidentes, correspondendo a 23% e 26% de áreas queimadas e moderadamente queimadas respectivamente, em relação à área total do PEVRI, como pode ser observado na Tabela 2.

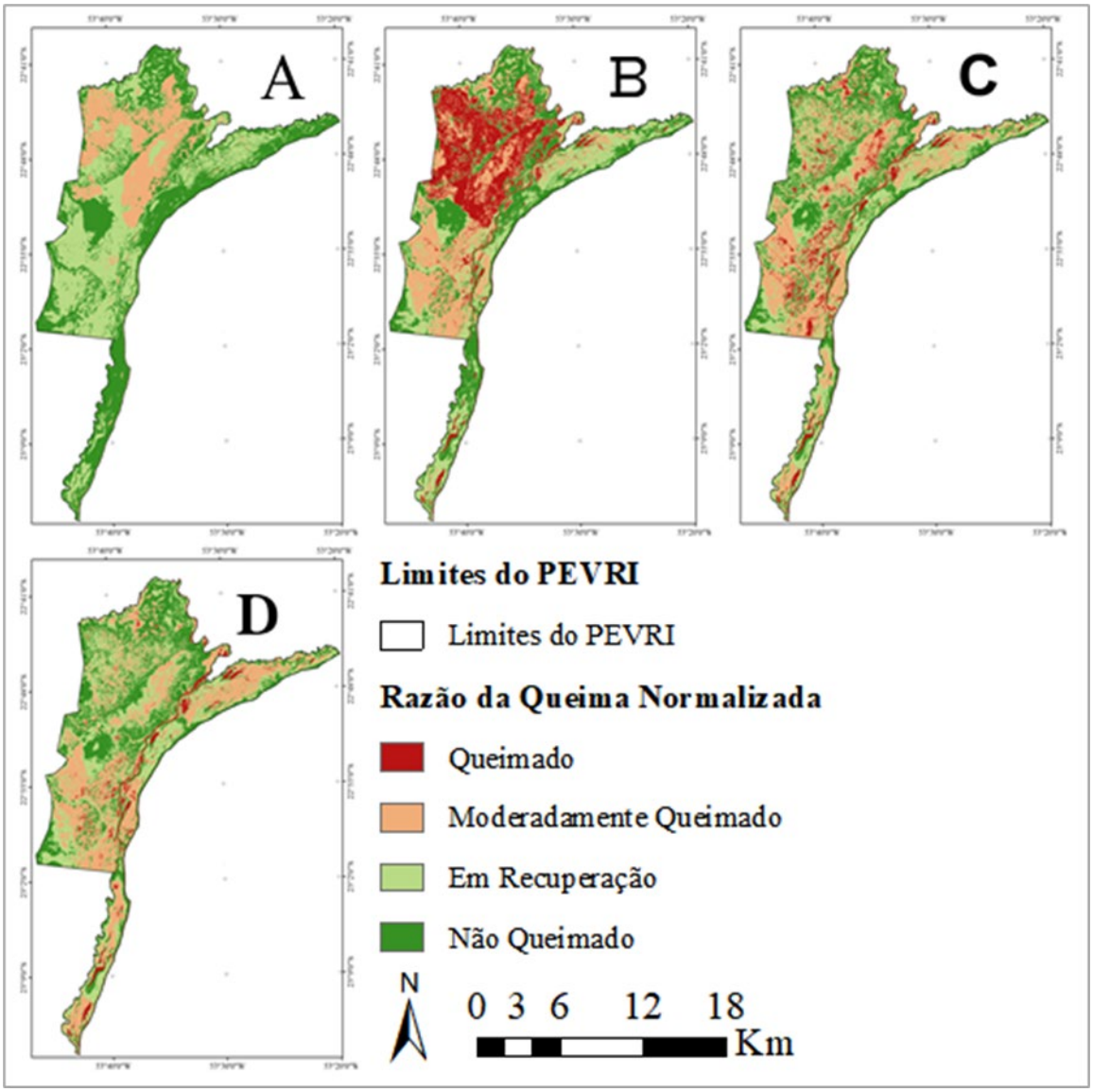


Figura 5. Monitoramento das cicatrizes de queimada com aplicação do NBR. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Pode ser verificado na Tabela 2 que houve grande recuperação vegetal, nos períodos posteriores ao incêndio, tendo em vista que no mês de fevereiro de 2018, as áreas queimadas e moderadamente queimadas representavam 35% da área do PEVRI, em contrapartida aos 65% de áreas pouco queimadas e não queimadas.

Tabela 2- Distribuição percentual das classes de NBR. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Razão de Queima Normalizada (NBR)				
Data	**Queimado**	**Moderado Queimado**	**Recuperando-se**	**Não Queimado**
24/10/2017	0%	19%	41%	40%
09/11/2017	23%	26%	25%	26%
18/01/2018	9%	29%	33%	28%
21/02/2018	5%	30%	34%	31%

As características apresentadas pelos resultados de NBR estão ilutradas na Figura 6.

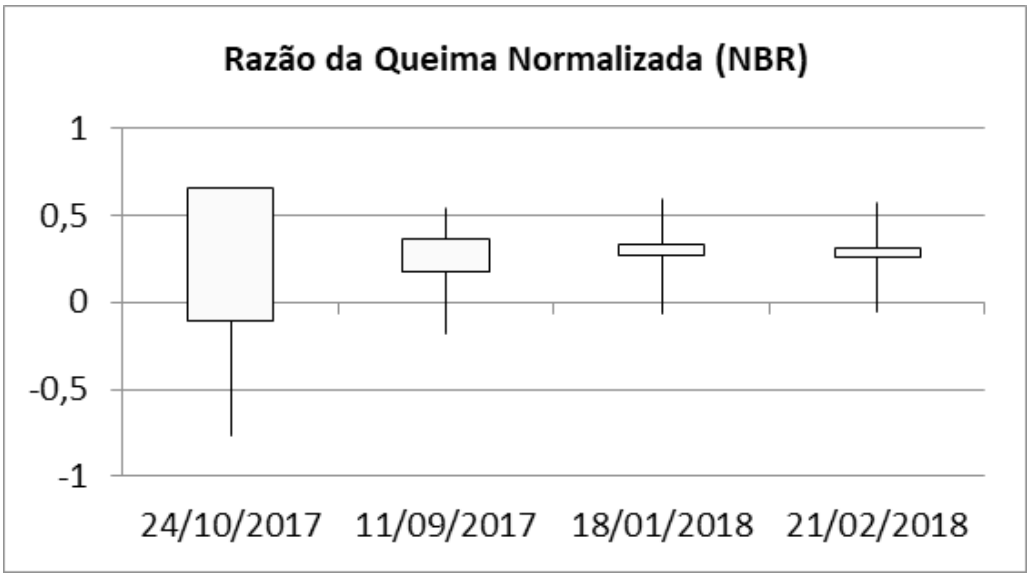


Figura 6. Valores do NBR

Segundo Gao (1996) o NDWI mensura o teor de água na planta. Como constatou Machado et al. (2014) as variações obtidas pelos índices de NDVI e NDWI são bastante expressivas, respondendo as modificações na intensidade da precipitação pluviométrica, os autores traçam grande relação entre os índices NDVI e NDWI, observando que nos períodos em que houve maior teor de água identificada pelo NDWI, corresponde aos períodos de maior robustez vegetal, onde a vegetação se apresentou mais densa e saudável.

No Quadro A da Figura 7 pode ser observado o período de ocorrência do incêndio, onde foram identificados resultados de teor de umidade nas plantas muito baixos, tendo 20% de áreas sem umidade e 17% de áreas com pouca umidade, o que apresenta grande relação com os resultados dos índices de vegetação, que identificaram consideráveis perda de vegetação neste período.

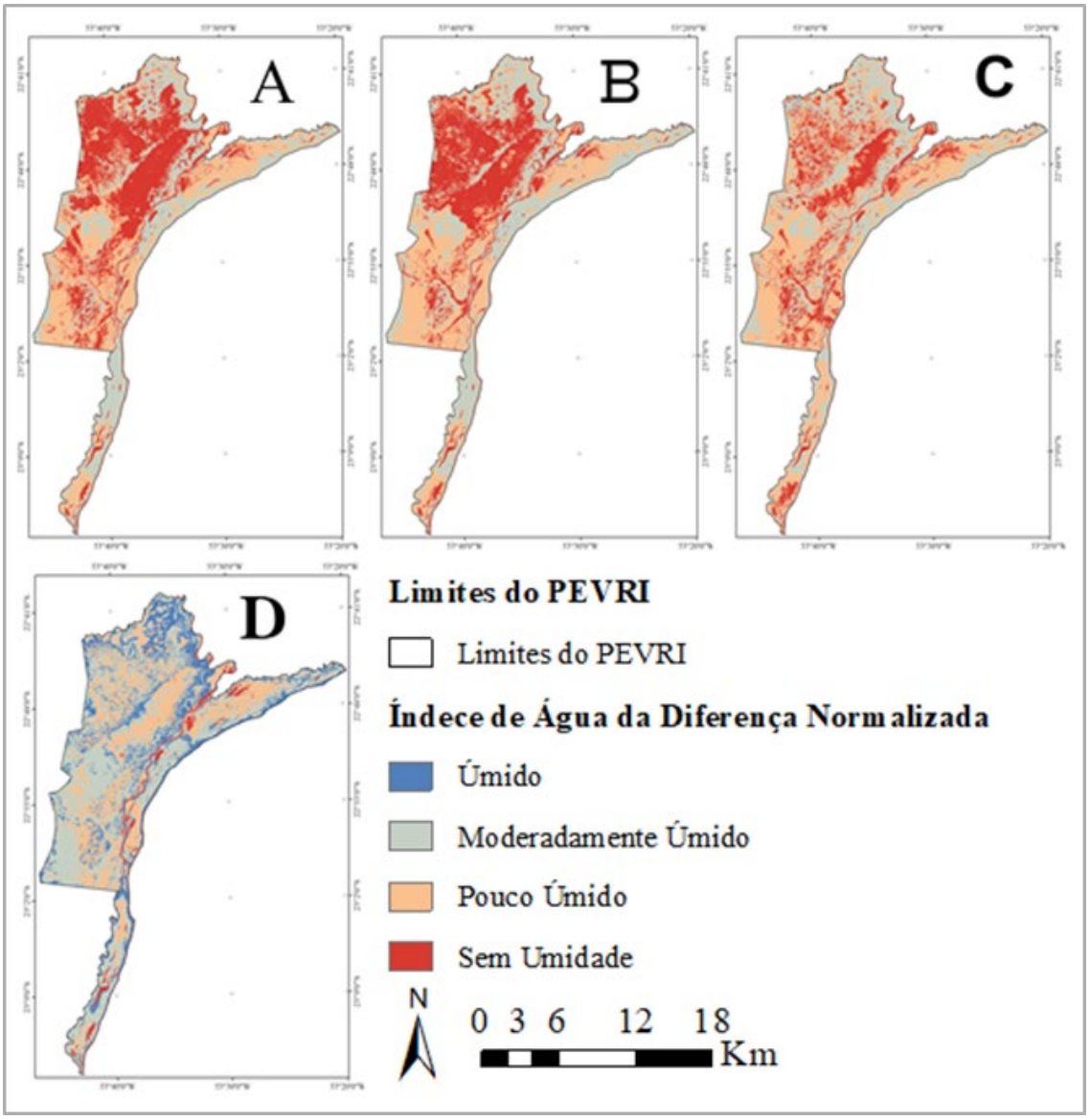


Figura 7. Monitoramento do teor de água na vegetação com aplicação do NDWI. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Os índices apontam que o evento de incêndio provocou grande estresse na dinâmica ecossistêmica em vista dos impactos gerados na flora e no teor de água da vegetação, condições fundamentais para o equilíbrio das funções ecológicas de um habitat. No período do mês de fevereiro de 2018, como pode ser observado no Quadro D da Figura 7 e na Tabela 3, foram registrados maiores índices de umidade, contabilizando 70% de áreas moderadamente úmidas e úmidas contra 26% de áreas com pouca umidade e 4% de áreas sem umidade. Esta melhora na umidade é fator dependente dos índices pluviométricos e favorece significativas condições para recuperação vegetal e recuperação dos processos ambientais.

Tabela 3. Distribuição percentual das classes de NDWI

Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI)				
Data	**Úmido**	**Moderado úmido**	**Pouco Úmido**	**Sem umidade**
24/10/2017	29%	35%	17%	20%
09/11/2017	31%	36%	19%	14%
18/01/2018	32%	45%	19%	5%
21/02/2018	21%	49%	26%	4%

Os valores do NDWI são apresentados na Figura 8.

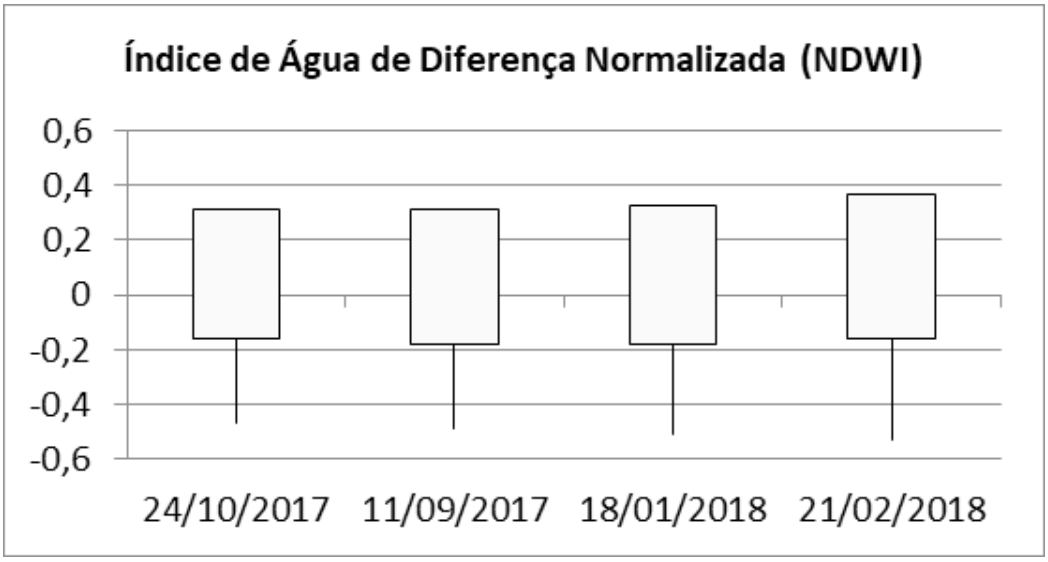


Figura 8. Valores do NDWI

Conforme Welikhe et al. (2017) concluem, o MSI se apresenta como um bom indicador das condições de umidade do solo, podendo ser aplicado em áreas onde os dados de umidade do solo não estão disponíveis. Os autores realizaram em seu estudo o monitoramento da umidade do solo por meio da eficácia do MSI em concilio com o monitoramento por sondas, observando forte correlação dos resultados, verificando assim a grande eficacia do MSI. No Quadro A da Figura 9 pode ser observado o período de ocorrência do incêndio, onde foram identificados resultados para MSI muito preocupantes, tendo em vista que 21% e 34% da área do PEVRI estavam, respectivamente, com alto e moderado estresse hídrico, o que apresenta grande relação com os resultados dos índices NVDI e NDWI, que identificaram consideráveis perdas de vegetação e menores índices de umidade neste período.

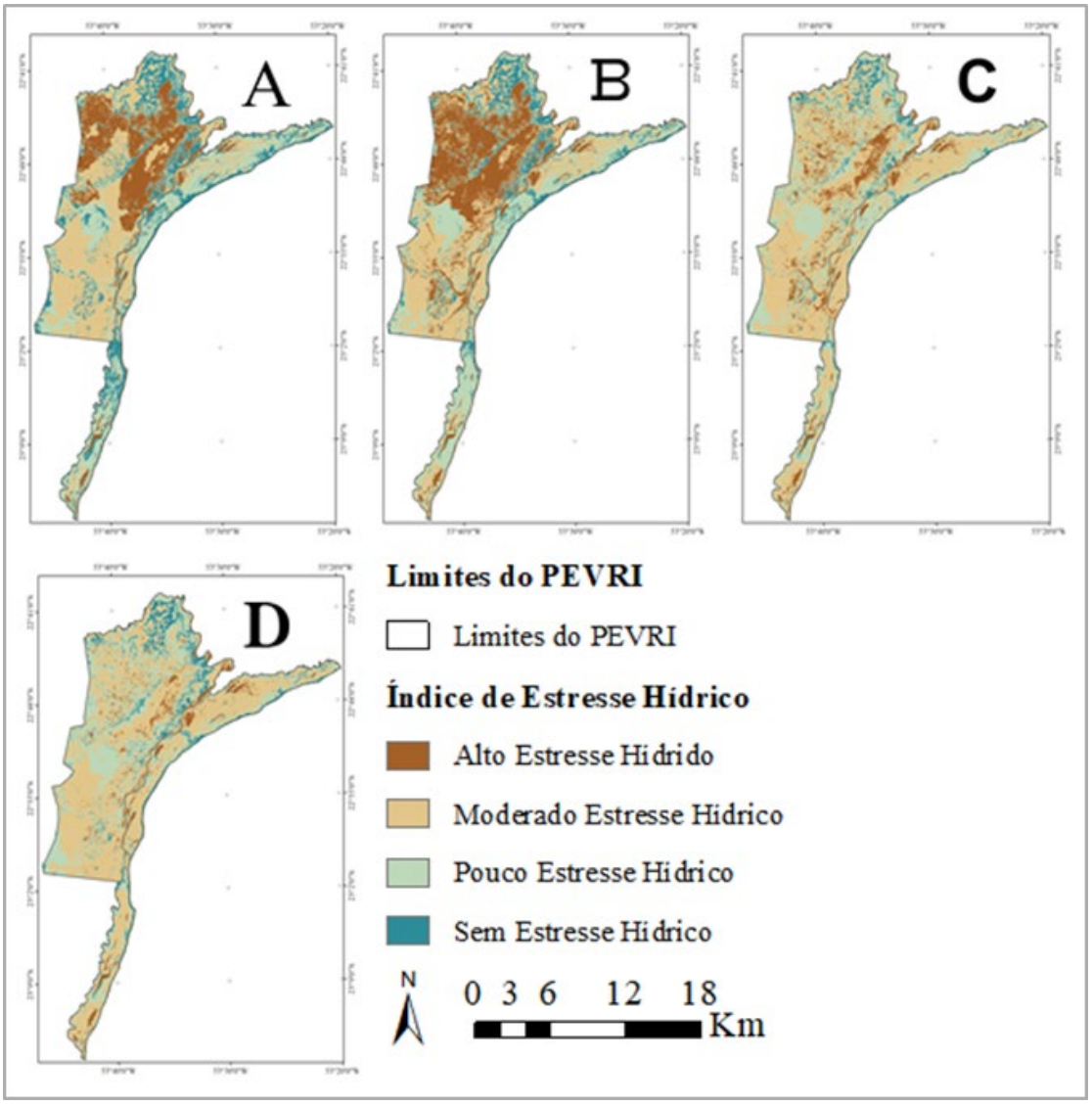


Figura 9. Monitoramento do teor de umidade no solo com aplicação do MSI. Onde, o quadro A = 24/10/2017, B = 09/11/2017, C = 18/01/2018, e D = 21/02/2018

Apesar do aumento da precipitação pluviométrica nos meses seguintes ao evento de incêndio, dos resultados positivos de recomposição vegetal de acordo com o NDVI, da elevação dos índices de umidade conforme resultados do NDWI, e diminuição das cicatrizes de queimadas conforme resultados apontados pelo índice NBR, ao que tange o estresse hídrico do solo, não houve recuperação no mês de fevereiro de 2018, em escalas similares aos demais índices, visto que, apesar da diminuição das áreas com alto estresse hídrico para 4% da área total do PEVRI, 53% da área se encontra com moderado estresse hídrico, como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4. Distribuição percentual das classes de MSI

Índice de Estresse Hídrico (MSI)				
Data	**Alto estresse hídrico**	**Moderado estresse hídrico**	**Pouco estresse hídrico**	**Sem estresse hídrico**
24/10/2017	21%	34%	28%	17%
09/11/2017	29%	33%	27%	12%
18/01/2018	12%	52%	31%	6%
21/02/2018	7%	53%	32%	9%

Ainda que considerada a elevação dos índices pluviométricos a partir do mês de novembro de 2017, após o evento de incêndio, o estresse hídrico do solo apresentou resultados negativos até o mês de janeiro de 2018, entretanto, a partir do mês de fevereiro como pode ser observado na Tabela 4, é possível constatar que o estresse hídrico apresentou diminuição e que a umidade do solo pode ser reestabelecida nos meses seguintes, condicionada a ocorrência de precipitações pluviométricas consideráveis. Na Figura 10, podem ser visualizadas os valores do MSI apresentadas neste estudo.

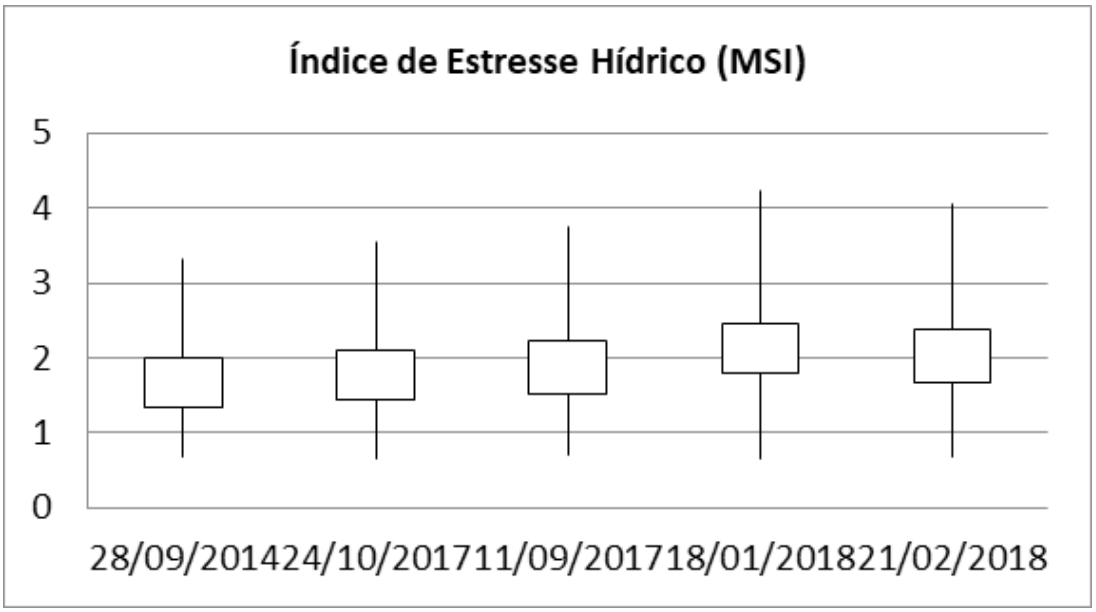


Figura 10. Valores do MSI

Através dos resultados analisados acima pode-se verificar que há grande correlação entre os resultados dos índices NBR, NDVI e NDWI. Assim como Machado et al. (2014) encontrou grande correlações entre os índices de umidade e recomposição vegetal, os resultados deste estudo apontam um paralelo, entre o reestabelecimento da umidade do ambiente e a recomposição vegetal, associados claramente aos eventos de precipitação pluviométricas que foram mais relevantes a partir do mês de ocorrência do incêndio, propiciando condições adversas ao surgimento de novos focos de incêndio e favoráveis a rebrota da vegetação.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra que Sistemas de Informações Geográficas e o sensoriamento remoto são eficientes ferramentas no processo de monitoramento ambiental de grandes áreas, fornecendo praticidade, agilidade, menor dispêndio de tempo e recursos financeiros na realização de análises e gestão ambiental.

Os resultados foram satisfatórios em virtude de que o monitoramento ambiental por meio da aplicação dos índices NDVI, NDWI e NBR, possibilitaram verificar o comportamento da recomposição vegetal e reestabelecimento da umidade da vegetação após o estresse causado pelo evento de incêndio.

A utilização do MSI, também se demonstrou eficiente, ao possibilitar a visualização de que o ambiente ainda não se encontra totalmente recuperado, e que alguns de seus componentes necessitam de mais tempo e condições especificas para se reestabelecerem.

É importante considerar ainda, como limitação desta metodologia, que apesar dos resultados positivos de recomposição da vegetação, este trabalho não aponta concretamente se os processos ecossistêmicos e suas relações foram reestabelecidas e se a fauna e outros aspectos intrínsecos do local foram restaurados. Em suma, conclui-se que a utilização de uma plataforma gratuita como o United States Geological Survey (USGS) de disponibilização de imagens apresenta alto potencial de uso para a gestão ambiental dos parques brasileiros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

BURAPAPOL, K; NAGASAWA, R. Assessment of Wildfire Risk at Recreational Sites in Sri Lanna National Park, Chiang Mai, Northern Thailand, using Remote Sensing and GIS Techniques. International Journal of Geoinformatics, v. 13, n. 3, 2017.

DE AQUINO, C.M.S. Variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada–NDVI no Parque Nacional da Serra da Capivara e seu entorno, Piauí, Brasil. Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, p. 640-649, 2016.

DA SILVA CARNEIRO, K.F.; ALBUQUERQUE, E.L.S. Análise multitemporal dos focos de queimadas em Teresina, estado do Piauí. Revista de Geociências do Nordeste, v. 5, n. 2, p. 31-40, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, p. 16, 2013. Disponível em: http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00053080.pdf. Acesso em 25 de março de 2018.

EARTH EXPLORER. 2015. Imagens Landsat 8. Órbita 224, ponto 076. Disponível em: http://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 25 de março de 2018.

GAO, Bo-Cai. 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.

HUNT Jr, E. R; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. Remote sensing of environment, v. 30, n. 1, p. 43-54, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html?=&t=downloads. Acesso em 29 de março de 2018.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). Plano de manejo do Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema. Campo Grande, MS, 2008. Disponível em: http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2015/06/Parque-Estadual-das-V%C3%A1rzeas-do-Rio-Ivinhema-PEVRI.pdf. Acesso em 22 de março de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Precipitação Mensal Acumulada de Ivinhema, MS. INMET, 2018. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A709&mesAno=2018. Acesso em 04 de maio de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Relatório Atual de Focos de Incêndios: Tabela de focos acumulados por país nos últimos 5 anos. INPE, 2018. Disponível em: https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/cadastro.novo/relatorios/relatorio-diario-automatico#grafico_focos_pais_ano. Acesso em 26 de março de 2018.

KE, Y; IM, J; LEE, J; GONG, H; RYU, Y. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. Remote Sensing of Environment, 164, 298-313. 2015.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Texto_Adicional_ConservacaoID-xNOKMLsupY.pdf. Acesso em 28 de março de 2018.

MACHADO, T. S; CAIONI, C; FERNANDES, R. S; NEVES, R. J; NEVES, S. M. A. S. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro 2014.

MACHADO, T. S; CAIONI, C; FERNANDES, R. S; NEVES, R. J; SILVA NEVES, S. M. A. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 2014. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 690 -699.

MALLINIS, G.; KOUTSIAS, N. Comparing ten classification methods for burned area mapping in a Mediterranean environment using Landsat TM satellite data. International journal of remote sensing, v. 33, n. 14, p. 4408-4433, 2012.

MAILLARD, P; PEREIRA, D. B; SOUZA, C. G. Incêndios florestais em veredas: conceitos e estudo de caso no Peruaçu. Revista Brasileira de Cartográfia, n. 61, n.4, 2009.

NETA, S. R. A., BIAS, E. D. S., BRITES, R. S., & DOS SANTOS, C. A. M. Aplicação de um Modelo de NDVI para Detecção Multitemporal de Mudanças no Uso e Cobertura do Solo. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p. 592-604, 2018.

NAMI, M. H; JAAFARI, A; FALLAH, M; NABIUNI, S. Spatial prediction of wildfire probability in the Hyrcanian ecoregion using evidential belief function model and GIS. International Journal of Environmental Science and Technology, v. 15 n. 2, p. 373-384. 2018.

PEREIRA, L. E. et al. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 2, p. 654-662, 2018.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Download de imagens Enhanced Vegetation Index (EVI) (rolling 8-day) da área do Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema em Mato Grosso do Sul, Brasil. Wordview. Earth Data. Terra/MODIS. NASA. 2018. Disponível em: https://worldview.earthdata.nasa.gov/ Acesso em 23 de abril de 2018.

NIMER, E. Um modelo metodológico da classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia - IBGE, Rio de Janeiro, n. 4, v. 41, p. 59-89, 1979.

QUANTUM GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. Versão 2.18.12.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE), 1998.

ROSAN, T. M; ALCÂNTARA, E. Detecção de áreas queimadas e severidade a partir do índice espectral ΔNBR. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

ROUSE, J.W., JR., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, AND D.W. DEERING. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 1973. 93p.

PERES, P. N., MIOTO, C. L., JUNIOR, J. M., & PARANHOS FILHO, A. C. Variação da Cobertura do Solo no Pantanal de 2000 a 2015 por Sensoriamento Remoto com Software e Dados Gratuitos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 39, n. 2, p. 116-123, 2016.

SIRCA, C; CASULA, F; BOUILLON, C; GARCÍA, B. F; RAMIRO, M. M. F; MOLINA, B. V; SPANO, D. A wildfire risk oriented GIS tool for mapping rural-urban interfaces. Environmental Modelling & Software, v. 94, p. 36-47. 2017.

WELIKHE, P; QUANSAH, J. E; FALL, S; ELHENNEY, W. MC. Estimation of Soil Moisture Percentage Using LANDSAT-based Moisture Stress Index. V. 6, n. 2. Journal of Remote Sensing & GIS, 2017.

CAPÍTULO 8

ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TAQUARI INTEGRANDO MÉTRICAS DA PAISAGEM E SIG

RODRIGO MARTINS MOREIRA
Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, EESC/USP, Professor Adjunto da UNIR, Ji-Paraná, RO
rodrigo.moreira@unir.br

SARA LINE SILVEIRA ARAUJO
Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, RO

KAROLINE PAULA PEIXOTO
Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, RO

JÉSSICA LAUANY DOS SANTOS CESCONETTO
Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, RO

GUSTAVO TURETTA PEREIRA
Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, RO

MARCO DIODATO
Doutor em Ciências Biológicas pela UFPR, Professor Associado da UFERSA, Mossoró, RN

ABSTRACT: The forest fragmentation of this biome, especially the lower Taquari basin under study, has contributed to the edge effect, which can lead to loss of biodiversity. The objective was to analyze forest fragmentation, using remote sensing products, in the basin of the lower Taquari using landscape metrics. For the analysis of forest fragments, products from the MapBiomas project were used, through the Google Earth Engine platform, for the years 1985, 1995, 2005 and 2019, after the calculation of landscape metrics with the Fragstats software. It was noticed a decrease in the number of fragments, in the size of the fragments, as well as in the index of largest fragments, which implies in a lesser conservation of the smallest remaining fragments. As a result, human actions have helped to reduce environmental conservation, causing great loss of biodiversity.

Keywords: Pantanal, environmental conservation, GEE, GIS, remaning vegatation

RESUMO: A fragmentação florestal do bioma Pantanal, em especial a bacia do baixo Taquari em estudo, têm contribuído para o efeito de borda, o que pode acarretar perda de biodiversidade. O objetivo do trabalho é analisar a fragmentação florestal, por meio de produtos de sensoriamento remoto, na bacia hidrográfica do baixo Taquari utilizando métricas da paisagem. Para a análise dos fragmentos florestais foram utilizados produtos do projeto MapBiomas, por meio da plataforma *Google Earth Engine*, para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2019. Posteriormente, realizou-se o cálculo de métricas de paisagem com o software Fragstats. Percebeu-se diminuição no número e tamanho dos fragmentos, bem como no índice de maiores fragmentos, o que implica em uma menor conservação dos menores fragmentos restantes. Com isso as ações antrópicas têm auxiliado em uma menor conservação ambiental, causando perda da biodiversidade.

Palavras-chave: Pantanal, conservação ambiental, GEE, SIG, vegetação remanescente

INTRODUÇÃO

A degradação do meio ambiente sempre foi encarada como um descaso governamental e uma crise ambiental, mas talvez considerá-la antes de tudo como uma crise ética seja mais eficiente na busca por melhor conservação ecológica. O pressuposto de responsabilidade para com a preservação, assume um papel importante quando relacionado ao Pantanal brasileiro (ARAÚJO et al., 2020). Por ser um bioma único, o Pantanal recebe proteção prevista na Constituição Federal (1988), promulgada em 1988 e encontra-se em vigor até os dias atuais. O artigo 225 § 4.º estabeleceu o Pantanal Mato-grossense patrimônio nacional, restringindo sua utilização a condições que assegurem sua preservação, inclusive sobre os recursos naturais.

Ainda assim, o Pantanal sujeita-se a graves problemas ambientais oriundos de ações antrópicas, diretamente ligada à pressão das atividades agropecuárias. Paranhos et al., (2014) enfatiza a contradição, pois ainda que o Pantanal seja considerado preservado, o processo de retirada da floresta é contínuo e permanente, sobressaindo a atenuação de arbóreo-arbustivos por extensas áreas de pastagem destinadas à pecuária. Nesta circunstância, constata-se uma transição rápida, alterando a cobertura vegetal por vastas áreas desmatadas, sendo convertidas a fins pecuaristas. Esse crescimento desordenado de retirada vegetativa no Pantanal é predominantemente para a implantação de pastagens cultivadas, influenciado pela marcante disponibilidade sazonal de nativas pastagens, pelo relevo plano, onde não há declive consideráveis (COUTINHO, 2016; GAVLAK et al.,2013; LEITE et al., 2018) e até mesmo pela característica cultural, pois as principais atividades econômicas estão ligadas à pecuária, ao turismo e à pesca. O real problema não é a prática dessas atividades, mas a falta de ética e a ganância humana que se apresentam nas pressões que incentivam o aumento nos níveis de produção, causando impactos negativos no meio. Dentre as práticas que refletem tal comportamento, pode-se citar as indevidas implantações antrópicas, a introdução de espécies exóticas, o uso indevido de fogo, a pesca predatória e, acima de tudo, o desflorestamento. Dentre as três principais dinâmicas, a pecuária demonstra ser a maior responsável pelos danos ambientais (ALHO et al., 2019; ANDRADE, 2017; COUTINHO, 2016 e SILVA; GRADELLA; DECCO, 2017).

Todavia, surgem defensores pecuaristas e de áreas afins que argumentam seu ponto de vista partindo do princípio da quantidade considerável de Unidades de Conservação inseridas no bioma em questão. Contudo, quando se compara a áreas ocupadas por propriedades particulares com as unidades ecologicamente protegidas, revela-se uma desproporção, uma vez que 97% da ocupação do Pantanal são de interesses particulares, sobressaindo no manejo e controle na natureza (BRAZ et al., 2020). Como consequência, a remoção da vegetação acarreta variações na cobertura vegetal, perda de biodiversidade que resulta na redução de hábitats, além de causar danos a comunidades tradicionais que retiram seu sustento a partir de insumos providos pelo meio (ANDRADE et al., 2020).

Do mesmo modo, as ações antrópicas desenvolvem perturbações não naturais, que resultam na fragmentação florestal. No que lhe concerne, os fragmentos florestais são áreas “recortadas” e isoladas. Possuem um papel crucial para a manutenção de processos ecológicos, mas são altamente suscetíveis a interferências do padrão de uso e ocupação de seu entorno. Essas áreas de vegetação natural, interrompida por barreiras antrópicas ou naturais, causam alterações na paisagem, com sérias influências na biodiversidade e fluxos gênicos (RIBEIRO; MELO; VALENTE, 2020).

Essa temática, é amplamente estudada pela ciência da ecologia de paisagem, que se responsabiliza por quantificar a estrutura e função da dinâmica da paisagem. Esse processo de quantificação pode ser realizado por meio das métricas de tamanho, forma, área central, borda e determinadas proximidades oferecidas pela ciência, aliada às técnicas de sensoriamento remoto (COUTINHO, 2019). A partir do estudo de paisagem, é possível avaliar as alterações recebidas desse processo de fragmentação de hábitats, possibilitando inteirar-se acerca do espaço físico, bem como sua utilização e ainda viabiliza a compreensão da dinâmica temporal e/ou espacial (LIMA et al., 2004) de uma delimitação territorial, podendo amparar na tomada de decisões sustentáveis (SILVA, 2015). Desta forma, os avanços da ciência mencionada concentram-se na fragmentação florestal, sua interferência à biota e aos seres humanos (JACOB, 2017), que por sua vez podem ser analisadas através de índices e/ou métricas da paisagem que caracterizam quantitativamente, viabilizando também a comparação, identificação de diferenças e a especificação de relações. Além disso, fornece suporte científico na localização de manchas, levando em consideração características como tamanho, forma, área central e o grau de isolamento (CABACINHA et al., 2010; SILVA; SOUZA, 2014).

Retomando a pressuposição de que a fragmentação florestal é consequência da retirada de vegetação, está também induz determinados recorrentes, dentre os quais pode-se citar a fragmentação de hábitats. Esse segmento reflete danos às espécies, por encurtar regiões com disponibilidade favorável, reduzir de maneira drástica a flora específica assim como ocasiona diminuição do fluxo gênico e exposição de solo, sujeitando-se ao assoreamento. A subtração de ecossistemas gera danos as espécies do topo da cadeia, e a extinção desses pode alterar persistência e abundância de espécies inseridas nos níveis tróficos inferiores. O incremento de populações herbívoras e predadoras de óvulos maduros já fecundado das plantas reduz em pequenos parcelas a densidade de plântulas de vegetação do dossel (ABDALLA; CRUZ, 2015; TERBORGH, 2001)

Essas objeções não são levadas em consideração quando se tem uma demanda populacional crescente e uma cultura de exploração focada apenas no crescimento econômico. Assim, sendo de interesse próprio, ou não, esse sistema de fragmentação aflige vigorosamente o meio (DANTAS et al., 2017; FENGLER et al., 2015; NASCIMENTO; LIMA, 2017).

Da mesma forma que o desflorestamento tem como maior responsável as atividades agrícolas e pecuarista, a fragmentação se ramifica originária dessas mesmas pressões antrópicas (OLIVEIRA et al., 2015). Na extensão do Pantanal, constata-se uma gradativa fragmentação da vegetação nativa. No ano de 2006, Leite; Rodrigues e Leite (2018) observaram uma cobertura vegetal mais coesa, ao passo que em 2017 foram certificadas maior presença de áreas desmatadas.

SIGs e produtos de sensoriamento remoto para a conservação ecológica

Reconhecer essa problemática leva os pesquisadores a propor meios que auxiliem na conservação ecossistêmica. Dessa forma, surge como ferramenta de planejamento e monitoramento, o estudo de uso e ocupação da terra, que por sua vez destaca-se na contribuição de informações que avaliam a sustentabilidade ambiental, detectando fragmentos e promovendo auxílio aos gestores, legisladores e planejadores (LOPES et al., 2016). O aprimoramento dessa técnica se deve ao uso de sistemas computacionais aptos a gerir banco de dados georreferenciados. A literatura reforça que a submissão a tecnologia é primordial para elaborar diagnósticos, avaliações de ações alternativas e manejo, apontando-a como um instrumento essencial à conteúdos de planejamento e logística dos recursos naturais. Dentre as ferramentas oriundas, a partir do sensoriamento remoto, tem-se a plataforma MapBiomas, que auxilia na conservação ecológica, por meio de mapas e dados atualizados sobre a cobertura vegetal terrestre (CRISTO et al., 2016; MAPBIOMAS, 2019).

Nesse mesmo pressuposto, apreciar as conversões que ocorrem no espaço e o respectivo impacto ambiental por meio do uso de produtos do sensoriamento remoto e de técnicas do geoprocessamento, até então, é a forma mais econômica e efetiva para fiscalizar alterações no meio (MATIELLO et al., 2017). Por esse ângulo, compreender as mudanças no uso da terra no decorrer dos anos é crucial para alcançar equilíbrio dos sistemas naturais a fim de que os recursos sejam utilizados de forma ética e sustentável (ROSA et al., 2018).

Portanto, o presente trabalho tem como finalidade analisar a fragmentação florestal, por meio de produtos de sensoriamento remoto, na bacia hidrográfica do baixo Taquari utilizando métricas da paisagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é a sub bacia do baixo rio Taquari, localizada na bacia do Rio Paraguai, pertencente aos municípios de Corumbá e Ladário, região norte do estado de Mato Grosso do Sul, com área aproximada de 26579,59 km², conforme Tigura 1. A principal atividade econômica desenvolvida na bacia é a agropecuária. Nos últimos anos o com-

portamento hidrológico da área de estudo tem chamado atenção por estar apresentando altas taxas de sedimentação, comportamento natural, porém tem se acelerado pelas ações antrópicas na região, além disso é uma região de planície que inunda grandes áreas em algumas épocas do ano. Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger esta região se enquadra no clima tropical (Aw), caracterizado por seca no inverno, elevadas temperaturas no verão juntamente com chuvas.

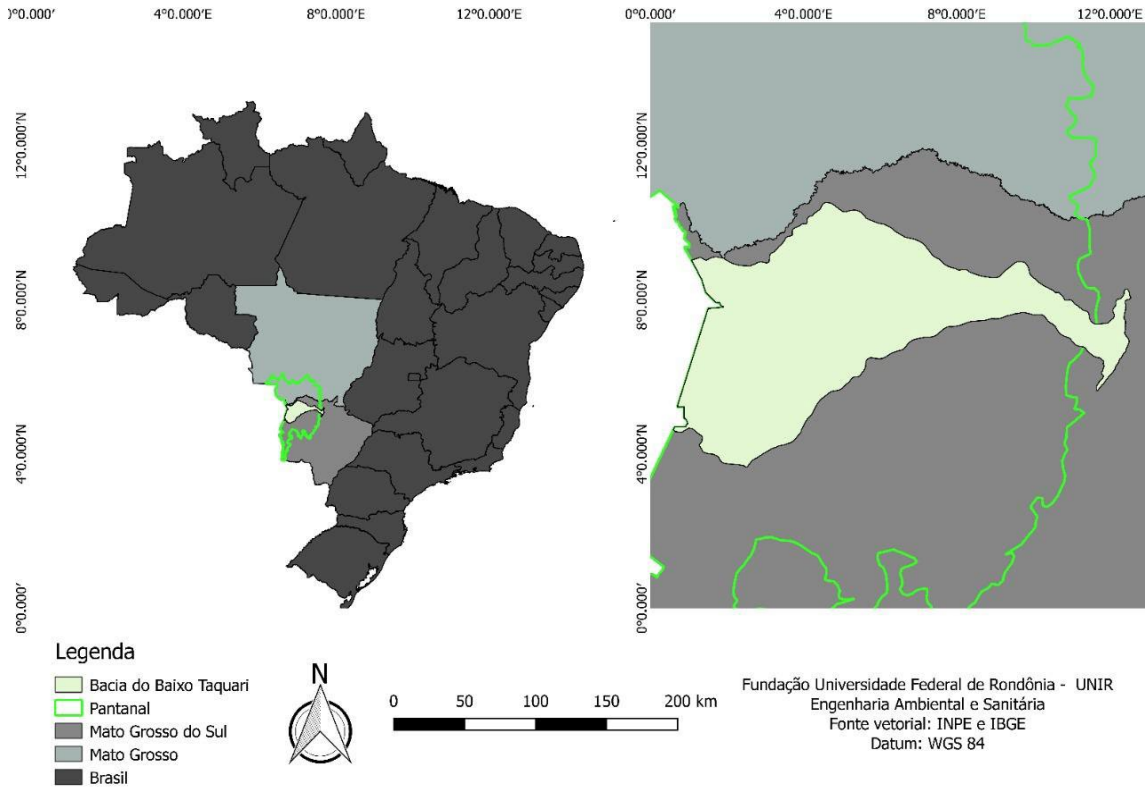


Figura 1. Mapa de localização da Subbacia do baixo rio Taquari

Para a análise dos fragmentos florestais foram utilizados dados matriciais, oriundos do projeto MapBiomas que, segundo (SOUZA, 2017), consiste na classificação pixel por pixel do uso e cobertura do solo das imagens dos satélites Landsat, com resolução espacial de 30 metros. Os anos considerados foram 1985, 1995, 2005 e 2019. Todo o processo foi realizado por meio da plataforma Google Earth Engine (GOOGLE, 2021). Depois de adquiridos os dados foi efetuada a reprojeção das imagens para o sistema de referências WGS 84, zona UTM 21S.

O cálculo das métricas de paisagem foi realizado no software Fragstats, versão 4.2 (MCGARIGAL, 2013), tendo como dados de entrada dados matriciais em formato GEOTiff. Foram empregados nove índices de ecologia da paisagem, divididos em grupos, sendo eles: área e densidade, forma, bordas, área de núcleo e vizinhança. As fórmulas utilizadas para cálculos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Métricas espaciais utilizadas na quantificação da estrutura da paisagem

Métricas		Sigla e intervalo (unidade)	Fórmula e Interpretação
Área e Densidade			NP = N NP = ni onde ni número de manchas em uma paisagem de uma determinada classe i. Maiores valores de NP indicam maior fragmentação, e menores valores indicam união ou extinção de fragmentos de mesma classe (MCGARIGAL, 2002; SOUZA *et al*., 2014)
	Média do tamanho do fragmento (AREA_MN)	ha	AREAMN=j=1nxijni Onde: xij = mancha de uma determinada classe i. AREA-MN e PD permitem aferir a qualidade ecológica do habitat, onde, conforme o tamanho dos fragmentos e sua proximidade uns dos outros aumentam, mais equilibrado e estável será a dinâmica ecológica da paisagem (REMPEL, 2009).
	Densidade de fragmentos (PD)	%	
	Índice de maior fragmento (LPI_MN)	0 < LPI ≤ 100 (%)	LPI = max(aij)j=1nA x 100 Onde: aij = área (m2) de uma mancha ij; A = área total da paisagem (m2). Afere a porcentagem fragmento de maior tamanho representa na paisagem estudada, permitindo uma análise do grau de redução da diversidade ecológica (POLETTO; METZGER, 2002). Valores mais altos para esse índice favorecerão espécies dispersoras, polinizadoras e dispersão de propágulos, contribuindo com fragmentos menores (SOUZA *et al*., 2014).
Forma	Índice de forma médio (SHAPE_MN)	SHAPE_MN ≥ 1	Indica o fator de forma do fragmento, onde, maiores valores indicam maior irregularidade de forma.
Bordas	Densidade de Bordas (ED)	ED ≥ 0 (m.ha-1)	TE = j=1neij Onde: eij = comprimento total de borda em uma paisagem com determinada classe i Mede o comprimento total das bordas dos fragmentos e pode ser relacionado à fragmentação, por exemplo: no caso de uma área onde formações florestais são fragmentadas percebe-se um aumento da quantidade de bordas (LAURENCE; VASCONCELOS, 2009).
Área do núcleo	Número de áreas centrais disjuntas (NDCA)	NDCA ≥ 0 (adimensional)	Indica a quantidade de áreas de núcleo sem conexão.
	Índice de área dos núcleos (CAI)	0 ≤ CAI_MN ≤ 100 (%)	Percentagem da área da classe reconhecida como área de núcleo.
	Total de áreas de núcleo (TCA)	há	Área de núcleo total dentro da classe.
Vizinhança	Distância Euclidiana do Vizinho Mais Próximo (ENN)	ENN_MN ≥ 0 (m)	hij = distância (m) do patch ij ao patch vizinho mais próximo do mesmo tipo (classe), com base na distância de ponta a ponta da borda, calculada do centro da célula para o centro da célula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices e os resultados calculados no software Fragstats versão 4.2 para quantificar a estrutura e composição dos fragmentos florestais no estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das Métricas espaciais utilizadas na quantificação da estrutura da paisagem

	Índices	Anos			
		1985	1995	2005	2019
Área e Densidade	NP ≥ 1 (adimensional)	90985	91252	88045	88777
	AREA_MN (ha)	4,8097	4,7793	4,6661	4,6468
	PD (%)	1,4047	1,4088	1,3593	1,3706
	0 < LPI ≤ 100 (%)	0,5943	0,5713	0,4294	0,4325
Forma	SHAPE_MN ≥ 1	1,3052	1,3052	1,3046	1,3084
Bordas	TE ≥ 0 (m)	89249661,49	89091044,6	84550788,6	85934494,46
	ED ≥ 0 (m. ha^{-1})	13,779	13,7545	13,0536	13,2672
Área do núcleo	NDCA ≥ 0 (adimensional)	13902	13947	13009	13073
	0 ≤ CAI_MN ≤ 100 (%)	0,3488	0,3543	0,3499	0,3426
	TCA (ha)	124816,1771	124334,835	117939,287	115794,4907
Vizinhança	ENN_MN ≥ 0 (m)	79,6668	79,6829	79,9689	78,5793

Para os números de fragmentos (NP) dos anos analisados percebe-se um aumento. No ano de 1995, o valor foi 91252, em 1985 o valor foi 90985, 2005 quantificou um total de 88045 e 2019 o número de fragmentos passou a totalizar 88777.

Por certo, com o passar dos anos, constata-se um aumento dos valores entre 1985 e 1995 e pode ser explicado devido ao aumento do desmatamento da região e também o uso e ocupação do local que provoca o desmembramento de fragmentos grandes e consequentemente diminuindo os mesmos e aumentando a quantidade. No entanto, entre os anos de 1995 e 2005, percebe um decréscimo desse valor. Em concordância com Calegari *et al*. (2010) os valores de fragmentos revelam a importância de conhecer os aspectos de padrões da paisagem, constituindo uma medida de parcelamento.

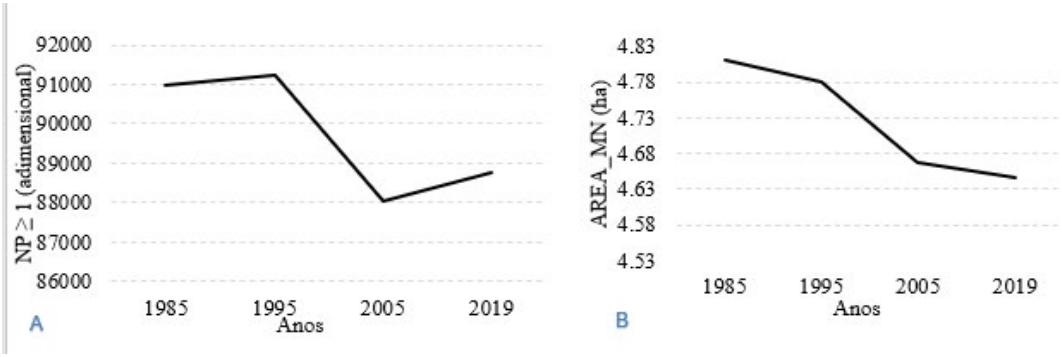


Figura 2. Números de fragmentos (NP) dos anos de (A), média do tamanho do fragmento AREA_MN (ha) (B) (ambos para os anos: 1985,1995,2005 e 2019)

A Média do tamanho do fragmento (ÁREA MN) representa a área média dos fragmentos dos anos estudados mostrado na figura 2 onde a ÁREA _MN para o ano de 2019 foi 4,6468 (ha), podendo ver a mesma baixa em relação aos outros anos, sabendo que a com a grande quantidade de fragmentos que surgiu no ano sendo um dos anos onde teve o maior o crescimento representado na Figura 1 (A).

Ao ser analisada a Figura 2 (B), nota-se uma diminuição na média dos tamanhos de fragmentos, onde entre os anos de 1995 e 2005 ocorreu uma grande oscilação desse valor, o que está diretamente relacionado com o acréscimo das áreas de pastagem, esse fato dentre muitas outros acarreta a extinção dos chamados corredores ecológicos, que segundo DE ARAÚJO (2019) são fundamentais para o equilíbrio ecológico do ecossistema, o que implica de forma direta o fluxo gênico das espécies. O acréscimo dos valores entre os anos de 2005 para 2019 pode ser explicado pela repartição de áreas florestais em pastagem, no entanto, respeitando áreas de proteção permanente.

A métrica da densidade de fragmentos (PD), teve variação de 1,4047% no ano de 1985, tendo pico em 1995 com 1,4088%, houve um decréscimo para o ano de 2005 chegando a 1,3593%, para o ano de 2019 houve novamente um crescimento, porém menor de 1,3706%. Atividades antropogênicas também podem ser causadoras de alterações nos padrões da paisagem em eventos como agropecuária, urbanização, secas e inundações. A densidade dos fragmentos (PD) pode servir como meio de avaliar o equilíbrio do ecossistema. Observando a Figura 3 (A), podemos observar que esse valor vem oscilando com o passar do tempo, onde ocorreu um decréscimo entre 1995 e 2005, porém de 2005 à 2019 ele começou a se elevar.

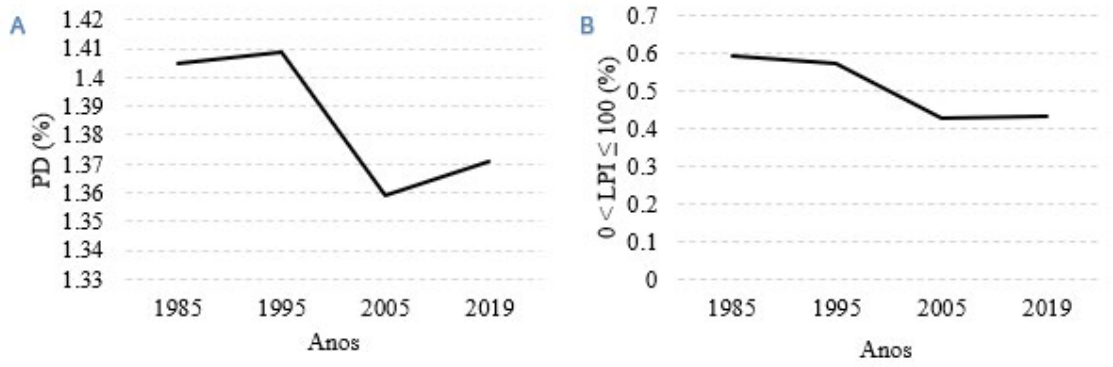


Figura 3. Evolução temporal da densidade de fragmentos (PD) (A) e Índice de maior fragmento (LPI_MN) (B) (ambos para os anos: 1985,1995,2005 e 2019)

O Índice de Maior Fragmento (LPI) é crucial quando observada à dinâmica ecossistêmica, é importante LPI mais elevados, pois esses atuam na proteção de fragmentos menores, possibilitando que ocorra um ambiente favorável para proliferação da biodiversidade local, servindo assim como berço para manutenção de processos tais como à dispersão e polinização (CALEGARI *et al*., 2010). Isso se dá devido ao fato de que nessas áreas consideradas mais conservadas ocorra um índice de natalidade mais elevado que o de morte, fazendo com que sirva como uma fonte de biodiversidade para os fragmentos menores ao redor (FUSHITA, 2006).

É notório que esse índice é de grande importância, e ao analisarmos a Figura 3 (B), podemos analisar que o auge do decréscimo do mesmo ocorreu do ano de 1995 sendo 0,5713% a 2005 equivalente a 0,4294% o que demonstra uma redução nas áreas de vegetação nativa nesse período, e que a partir de então esse valor se manteve estabilizado.

O Índice de Forma Médio (SHAPE_MN) observado na Figura 4 (A) indica que os fragmentos possuem forma complexa e irregular, o que propicia uma menor tendência à conservação (MCGARIGAL, 1995). No período de 2005 com 1,3046 a 2019 sendo 1,3084 foi onde ocorreu uma ascensão nesse valor, causando uma oscilação divergente do habitual, apesar de que essa elevação é um valor ainda pequeno.

Esse estilo de estrutura irregular nos fragmentos habilita problemáticas relacionadas ao efeito de borda, devido ao fato de que essas formas atuam de maneira que a área de núcleo do fragmento diminua, ocasionando assim complicações na parte estrutural dos ecossistemas (CEMIM, 2009).

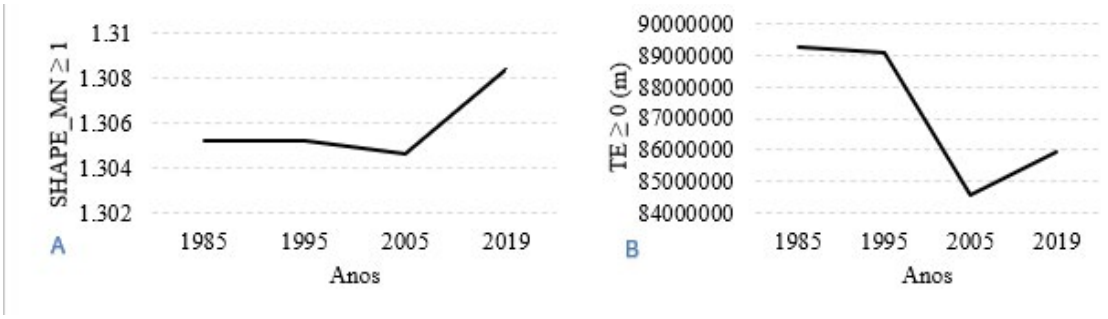


Figura 4. Índice de forma médio (SHAPE_MN) dos anos de 1985,1995,2005 e 2019(A), Total de bordas (TE) dos anos de 1985,1995,2005 e 2019 (B)

O total de bordas (TE) ao longo dos anos de estudo variou de 89249661,4 m no ano de 1985 a 84550788,6 m em 2005. Conforme Figura 4 (B), demonstra-se uma maior queda do valor de 1995 a 2005. Já a densidade de bordas (ED) representada na Figura 5 (A), não demonstrou grandes variações e obteve o mesmo comportamento do total de bordas com o maior valor apresentado no ano de 1985 sendo 13,779 m.ha-1 e menor valor em 2005 sendo 13,0536 m.ha-1.

Pirovani *et al*., (2014) destaca que menores valores de densidade e comprimento total de bordas, incitam em um maior efeito de borda o que acarreta um menor grau de conservação dos fragmentos florestais ali existentes. Em conformidade Calegari *et al*. (2010) também cita os malefícios dos altos valores de densidade de borda e quão auxiliam no aumento da degradação ambiental.

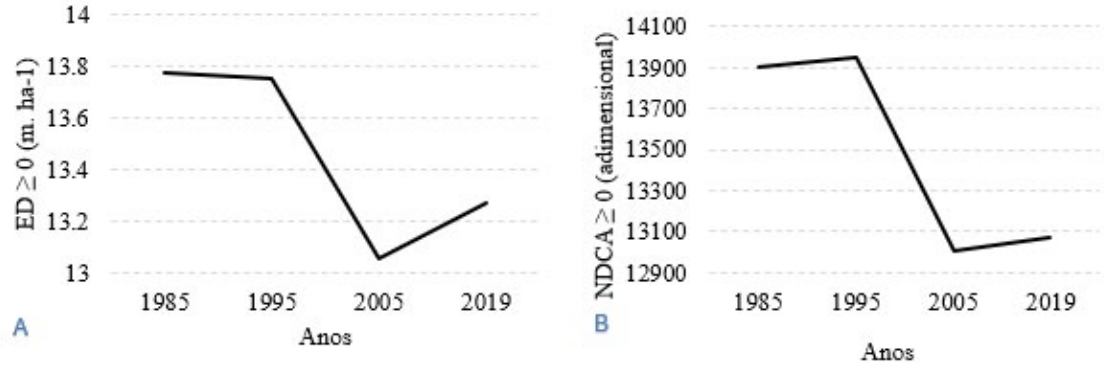


Figura 5. Densidade de Bordas (ED)dos anos de 1985,1995,2005 e 2019 (A), Evolução temporal da métrica de número de áreas centrais disjuntas (NDCA) (B)

Conforme ilustrado na Figura 5 (B), ocorreu um decréscimo no número de áreas centrais, o que é bom, porém esse valor começou novamente a subir, o que implica em problemáticas para o fluxo gênico das espécies, dificultando a migração de espécies para novos fragmentos territoriais, principalmente ao analisar os anos de 1995 à 2005 um decréscimo seguido de um aumento no ano de 2019.

Fatores como conversão em pastagens das florestas, pode ser citado como o principal agente causador, o que acaba acarretando uma imensa perda para a biodiversidade, CALEGARI *et al*. (2010) ainda destaca que o aumento desse valor consiste na queda da qualidade do meio.

Na Figura 6 (A) tem-se representada a área os núcleos (CAI) tem por serventia quantificar a área do fragmento média que é considerada área central, do ano de 1995 em diante esse número apresentou uma queda constante, o que indica que com o passar dos anos, cada vez é menor à área do fragmento são áreas centrais, e que as áreas de borda aumentam, como observado por Calegari *et al*. (2010) em seu estudo no município de Carandaí-MG.

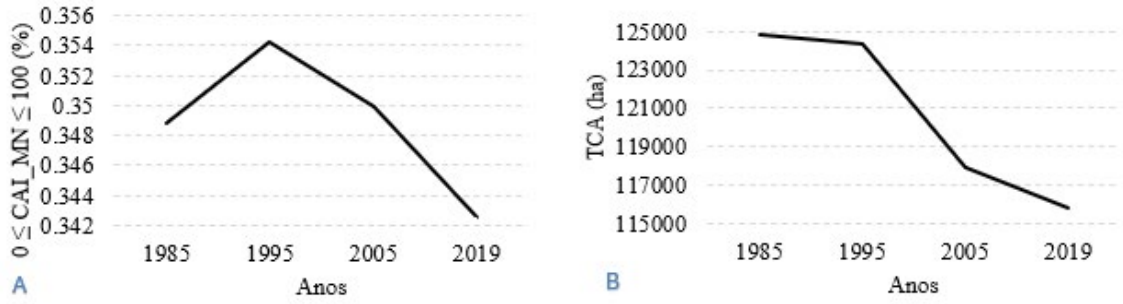


Figura 6. Índice de área dos núcleos (CAI) dos anos de 1985,1995,2005 e 2019 (A), total de áreas de núcleo (TCA) dos anos de 1985,1995,2005 e 2019 (B)

De acordo com a Figura 7 (B) temos o Total de áreas de núcleo (TCA), podemos perceber que houve a diminuição desta métrica, tendo como maior valor o primeiro ano de estudo 1985 com 124816,177 ha, e com menor valor o último ano de estudo 2019 com 115794,490 ha. Em conformidade com (GONÇALVES, 2019) com a diminuição dos valores de TCA sugere piores estruturas de fragmentos florestais para conservação da biodiversidade, pois diminui a quantidade de floresta isenta do efeito de borda. Na Figura 6, temos a distância Euclidiana do Vizinho Mais Próximo (ENN_MN).

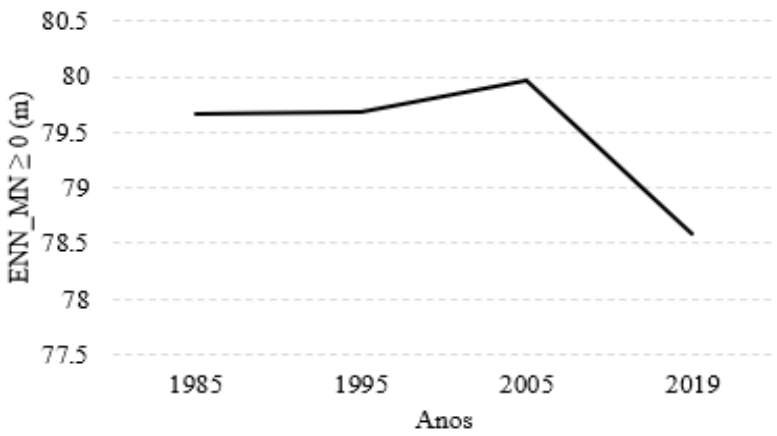


Figura 7. Distância Euclidiana do Vizinho Mais Próximo (ENN) dos anos de 1985,1995,2005 e 2019

Por meio da Figura 7 pode-se observar que um pico no ano de 2005 com 79,9689 m e uma queda deste mesmo ano para o ano de 2019 sendo 78,5793 m. Gonçalves (2019) cita que menores valores de ENN_MN demonstram que os fragmentos ali pertencentes estão em melhores condições de conservação, auxiliando assim os serviços ecossistêmicos. Almeida (2008) em um estudo no Parque Nacional dos Campos Gerais no estado do Paraná, classificou os fragmentos florestais conforme seu isolamento, e segundo essa classificação os fragmentos florestais da Bacia do baixo Taquari se encontram no grupo B de tamanho médio e com isolamento médio.

As diferentes ocupações e usos dos solos na região estudada com o passar dos anos, pode ser observado no mapa do uso do solo da na Figura 8, no qual apresenta a área territorial de cada uma das classes que foram averiguadas nos anos de 1985,1995,2005 e 2019. Podendo ver também detalhadamente o quão essa era foi modificada com os resultados presentes na Figura 9.

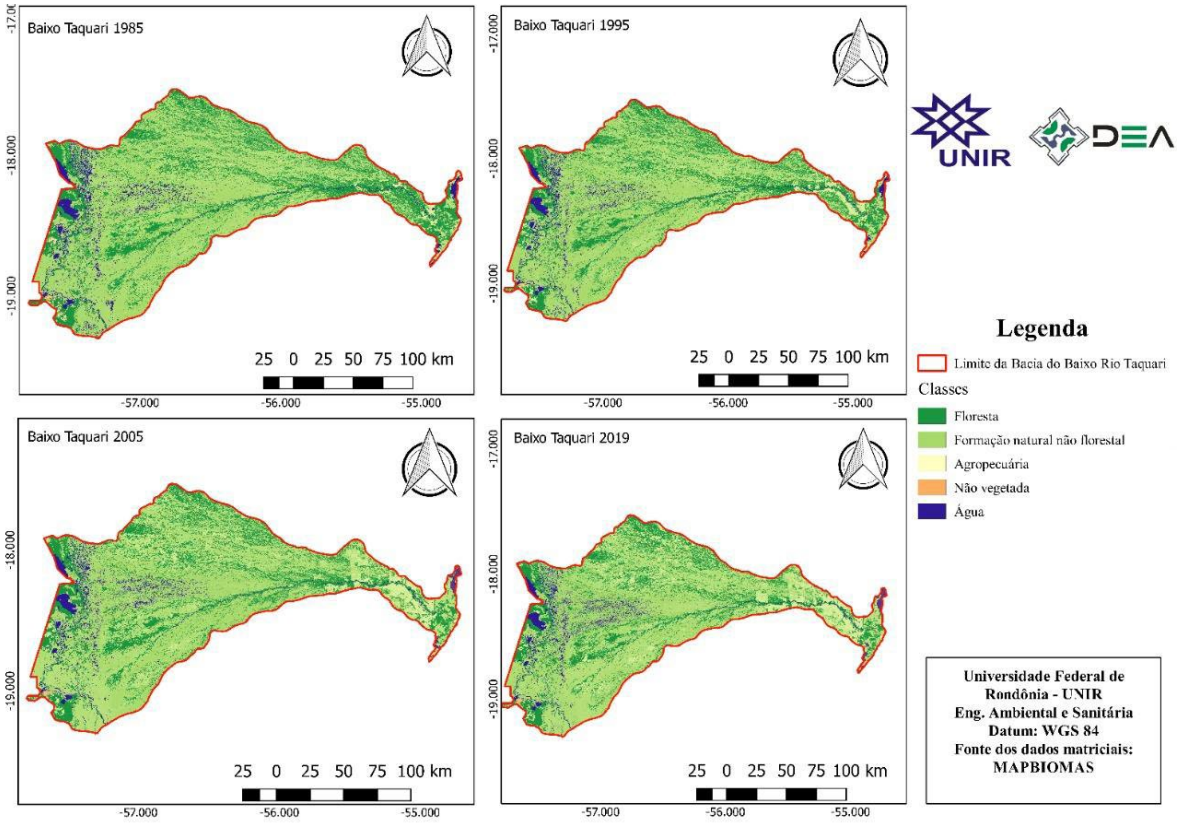


Figura 8. Mapa de Classificação das áreas para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2019

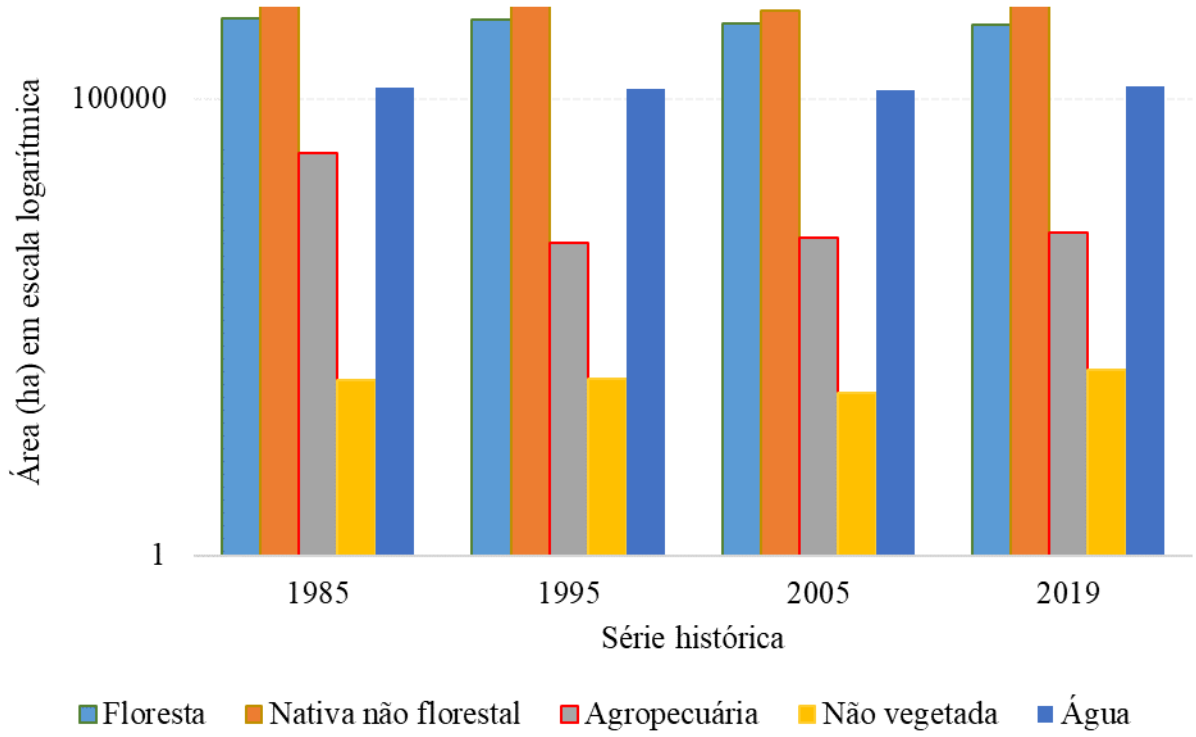


Figura 9. Dados das classes identificadas na Figura 8

Com os dados calculados pode perceber através da Figura 8 a pequena mudança da região estuda com o passar dos anos, percebendo principalmente a grande mudança da área nativa não florestal que teve uma mudança brusca ente os anos de 1995 e 2005 com um valor de 1.775.849,87 ha para o ano de 1995 e 904.160,73 ha para o ano de 2005 mais tendo uma particularidade no ano de 2019 que o valor foi para 1.856.076,79 ha maior valor de todos.

Observado também que houve o declínio da área de floresta na região, esse resultado também pode ser visto na Figura 10 onde mostra que a área de floresta no ano de 1985 era de 746.304,96 ha e para o ano de 1995 era de 722.643,55 ha e 2005 tendo um valor de 663.009,42 ha e por ultimo no ano de 2019 o valor foi para 634.560 ha, tendo a mesma uma perda de 111.744,67 ha da classe floresta da região. Essa perda de vegetação pode ter consequências, uma das formas de reverter esse processo de fragmentação e diminuindo algumas problemáticas que a mesma causa é por meio da criação de corredores ecológicos, onde ajuda na interação de remanescentes florestais por meio de ações de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas facilitando a dispersão de sementes e o deslocamento de animais entre fragmentos e a (IEMA, 2016).

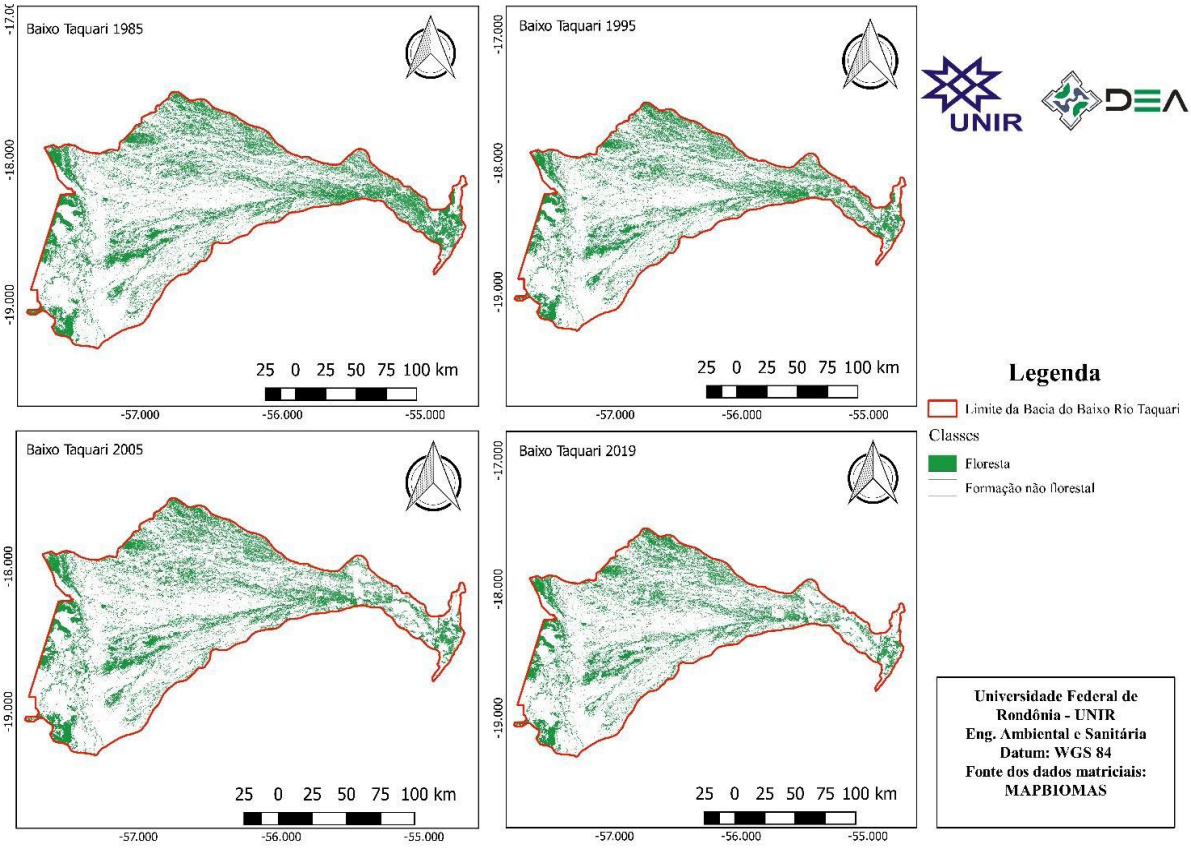


Figura 10. Mapa de Classificação das áreas de floresta para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2019

CONCLUSÃO

Pode-se destacar a versatilidade da utilização de softwares de geoprocessamento para trabalhar imagens de áreas relativamente extensas de maneira prática e ágil, sem uma necessidade do trabalho *in loco* e com acervo de dados de uma larga escala temporal, facilitando comparações e permitindo observar como as mudanças vêm ocorrendo e afetando o meio. Sendo assim, pode-se concluir que a análise da fragmentação florestal é uma importante ferramenta para os estudos ecossistêmicos, servindo de importante ajuda para análises históricas permitindo uma mais fácil visualização de como o meio ambiente vem sendo impactado pelas ações antrópicas.

E por fim, é válido ressaltar que essas ações realizadas pelo homem vêm sendo o estopim para degradação e fragmentação da paisagem natural, principalmente pela questão da implantação da prática agropecuária, o que acaba acarretando uma perda inestimável de biodiversidade. Dessa forma faz-se necessária uma maior fiscalização e aplicação de penalidades a quem for responsável por danos ao meio, para que assim ocorra uma melhora na qualidade dos ecossistemas, e até mesmo criação de novas legislações para recuperação dos mesmos, desde que esses sejam postas em prática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, L. S.; CRUZ, C. B. M. Análise de fragmentação florestal no município de silva jardim, APA do RIO São João, RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1, p. 169-184, jan./fev. 2015.

ALHO, C. J. R.; MAMEDE, S. B.; BENITES, M.; ANDRADE, B. S.; SEPÚLVEDA, J. J. O. Threats to the biodiversity of the brazilian pantanal due to land use and occupation. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, p. 1-22, 2019.

ALMEIDA, Cristina Guilherme de. **Análise espacial dos fragmentos florestais na** área **do parque nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 2008. Dissertação (Mestre em Gestão do Território) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

ANDRADE, B. da. S.; SILVA, M. H. S. da. OLIVEIRA, A. K. M. de.; ALHO, C. J. R. Análise espaço-temporal das mudanças na cobertura vegetal e uso da terra no pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 3, n. 42, p. 101-121, jul./dez. 2020.

ANDRADE, Bruna da Silva. **Análise da paisagem de ambientes florestais não inundáveis no Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul**. 2017. Dissertação (Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade Anhanguera, Campo Grande, 2017.

ARAÚJO, G. M. de.; MATIAS, R.; ABDO, J. P.; OLIVEIRA, A. K. M. de. A atuação do Estado brasileiro na proteção ambiental do Pantanal, fronteira Brasil/Bolívia. **Geofonter**, Campo Grande, v. 6, p. 01-15, jun. 2020.

ARAÚJO, T. M. S. de.; BASTOS, F. H. de. Corredores ecológicos e conservação da biodiversidade: aportes teóricos e conceituais. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, n. 2, p. 716-729, 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988, art. 225.

BRAZ, A. M.; MELO, D. S.; BONI, P. V.; DECCO, H. F. A estrutura fundiária do pantanal brasileiro. **Finisterra**, Lisboa, n. 113, p. 157-174, abr. 2020.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S.; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 675-690, out./dez. 2010.

CALEGARI, Leandro *et al*. Analysis of the dynamics of forest fragments in the city of Carandaí, MG, for forest restoration. **Revista** Árvore, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 871-880, mar. 2010.

CEMIN, G.; PERICO, E.; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio Jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista** Árvore, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 705-711, jul./ago. 2009.

COUTINHO, Jucelino da Silva. **Uso de geotecnologias para análise da fragmentação florestal, em uma** área **do município de Capitão Paço -PA**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biologia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, 2019.

COUTINHO, L. M. (2016). Biomas brasileiros [Brazilian biomes]. São Paulo: Oficina de Textos.

CRISTO, S. S. V. de.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Análise do Uso e Ocupação da Terra na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, estados do Tocantins e Bahia. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 182-191, set./dez. 2016.

DANTAS, M. *et al*. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 1, p. 87-97, 2017.

FENGLER, F. H. *et al*. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim entre 1972 e 2013. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.4, p.402–408, abr. 2015.

GAVLAK, A. A.; PRADO, B. R. do.; BARROS, M. A. Padrões de ocupação no Pantanal brasileiro e sua dinâmica entre os anos de 2002 e 2008: sensoriamento remoto e mineração de dados espaciais aplicados à análise espaço temporal do desmatamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, 2013, Foz do Iguaçu, INPE, 2013, p. 7064-7070.

GOOGLE, INC. Google Earth Engine. Disponível em: https://earthengine.google.com/. Acesso em: 20 fev. 2021.

GONÇALVES, A. L.; CRUZ, V. M. S.; SERRA, A. B. Fragmentação florestal na Região de Integração do Lago de Tucuruí, Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 62, ago. 2019.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2016. Plantio marca início de corredor ecológico em Cachoeiro de Itapemirim. Disponível: https://iema.es.gov.br/plantio-marca-inicio-de-corredor-ecologico-em. Acesso: 09 abril. 2021.

JACOB, Priscila Pimentel. P. **Avaliação da fragmentação da paisagem natural de Cerrado decorrente do espraiamento urbano de Brasília**. 2017. Dissertação (Mestre em desenvolvimento sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2017.

LEITE, E. F.; CARVALHO, E. M. de.; SILVA, J. L. da. C. S.; RODRIGUES, L. P. Dinâmica da cobertura vegetal e do uso e ocupação da terra na sub-região da Nhecolândia, Pantanal/MS. **GeoAmbiente**, Jataí, n. 31, p. 175-192, maio/ago. 2018.

LEITE, V. A. W.; RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Miranda-MS, Pantanal Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1458-1477, dez. 2018.

LIMA, D. B. Análise temporal da cobertura e uso da terra como subsídio ao estudo de degradação ambiental da Serra de Meruoca – Ceará. **GeoUECE**, Fortaleza, v. 3, n. 4, p. 317-318, jan./jun. 2014.

LIMA, E. C. *et al*. Qualidade da paisagem: estudo de caso na Floresta Ombrófila mista. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 45-56, jan./abr. 2004.

LOPES, S. M. F. *et al*. Avaliação espaço-temporal do uso da terra nas bacias hidrográficas do ribeirão Paraíso-GO e córrego Cerrado/ Cadunga-MG. **Geoambiente OnLine**. Jataí, n.27, jul./dez 2016.

MAPBIOMAS. O projeto. **Map Biomas**, São Paulo, 2019. Disponível em: https://mapbiomas.org/o--projeto. Acesso em: 20 fev. 2021.

MATIELLO, S., CERRI, F., PAGANI, C.P., LIMA, J.S., 2017. O uso do geoprocessamento para delimitação e análise das Áreas de Preservação Permanente de um córrego em Nova Mutum Paraná--RO. **Revista Presença Geográfica**, v. 4, n. 1, p. 40-50, Porto Velho, 2017.

MCGARIGAL, K. Fragstats: Fragstats help - versão 4.2. Computer software program produced by the author at the University of Massachusetts. Massachusetts: Amherst, 2013. 182 p.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. **General Technical**, Portland, p. 122-351, 1995.

NASCIMENTO, T. V.; LIMA, F. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, 2017.

OLIVEIRA, L. S. C. *et al*. Edge effect in Atlantic Forest Remnants in the watershed of the river Tapacurá, Pernambuco. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 169-174, 2015.

PARANHOS FILHO, A. C.; MOREIRA, E. S.; OLIVEIRA, A. K. M.; PAGOTTO, T. C. S.;

MIOTO, C. L. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. especial, p. 69-76, 2014.

PIROVANI, D. B. *et al*. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista** Árvore, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.

RIBEIRO, M. P.; MELLO, K. de; VALENTE, R. A. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 819-834, 2020.

ROSA, E. P. da. *et al.* 2017. Mapeamento do uso e ocupação da terra no município de Jaguari-RS, in: Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento, XVI, 2017, Campinas, Uso e ocupação das terras e legislação ambiental, Campinas, Instituto de Geociências, 2018, p. 6890-6894.

SILVA, J. M. O. Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da temperatura de superfície na microbacia do rio granjeiro, crato, ceará. **Geo Saberes**, Fortaleza, v. 6, n. 2, p. 130-144, jul./dez. 2015.

SILVA, M. H. S.; GRADELLA, F. S.; DECCO, H. F. Estudo comparativo das variações microclimáticas em distintas unidades da paisagem no Pantanal do Abobral em Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros,** Três Lagoas, v. 11, n. 26, p. 186-199, jun./nov. 2017.

SILVA, M. S. F.; SOUZA, R. M. Padrões espaciais de fragmentação florestal na Flona do Ibura – Sergipe. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137, set./dez. 2014.

SOUZA, C.; AZEVEDO, T. MapBiomas general handbook. **MapBiomas**: São Paulo, Brazil, p. 1-23, 2017.

SOUZA JÚNIOR, C. M. *et al*. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 17, ago. 2020.

TERBORGH, J. *et al*. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. **Science**, New York, v. 294, n. 5548, p. 1923-1926, nov. 2001.

USHITA, A. T. **Análise da fragmentação de** áreas **de vegetação natural e semi-natural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil.** 2006. Dissertação (Mestre em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CAPÍTULO 9

PYTHON E GOOGLE EARTH ENGINE NO MONITORAMENTO DE MUDANÇAS DE COBERTURA DO SOLO NO PANTANAL

JOSÉ AUGUSTO CORREA MARTINS
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS
jose.a@ufms.br

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: Swamps - places where the land is covered by water, salty, sweet or intermediate, cover just over 6% of the earth's surface. Spread across all continents except Antarctica, they provide food, drinking water and refuge for countless people and animals around the world. Despite its globais importance, about half of all wetlands on the planet have disappeared. Amid the vast wetlands we have in the world, one in particulares stands out: the Pantanal. With more than 42 million hectares, the Pantanal is the largest tropical humid area and one of the most untouched in the world. It is spread over three countries in South America - Bolivia, Brazil and Paraguay. The Pantanal is home to a large and diverse fauna and flora, so for the Pantanal to continue to play this role, it is essential that this biome is preserved. The Pantanal has recently been experiencing extreme weather events, such as severe droughts and large-scale fires. In this chapter using remote sensing and scientific approaches, we will try to better understand the environmental changes that have been occurring in the Pantanal over the years through use classification processes of the soil. The dataset used for the analysis was Corine and according to this database from 2015 to 2019, we observed an increase of ≈ 50% in agricultural areas and a general decrease in vegetation cover, with an increase in swampy areas.

Keywords: Wetland, CORINE, remote sensing

RESUMO: Os pântanos - lugares onde a solo é coberta por água, salgada, doce ou intermediária, cobrem pouco mais de 6% da superfície terrestre. Espalhados por todos os continentes, exceto a Antártica, eles fornecem alimentos, água potável e refúgio para inúmeras pessoas e animais em todo o mundo. Apesar de sua importância global, cerca de metade de todas as áreas úmidas do planeta desapareceram. Em meio a vastidão de áreas úmidas que temos no mundo, uma em especifico se destaca: o Pantanal. Com mais de 42 milhões de hectares, o Pantanal é a maior área úmida tropical e uma das mais intocadas do mundo. Ele se espalha por três países da América do Sul - Bolívia, Brasil e Paraguai. O pantanal é lar para uma grande e diversa fauna e flora, para o pantanal continuar a desempenhar esse papel é fundamental que esse bioma seja preservado. O pantanal recentemente vem

apresentando eventos extremos de clima, como severas estiagens e queimadas em grande escala, neste capitulo usando sensoriamento remoto e abordagens cientificas tentaremos compreender melhor as mudanças ambientais que vem ocorrendo no Pantanal ao longo dos anos por meio de processos de classificação de uso do solo. O dataset utilizado para a análise foi o Corine e de acordo com essa base de dados 2015 a 2019, observamos um aumento de ≈ 50% em áreas agrícolas e uma diminuição geral de cobertura vegetal, com aumento em área pantanosa.

Palavras-chave: Áreas úmidas, CORINE, sensoriamento remoto

INTRODUÇÃO

Há um consenso cada vez maior da necessidade de gerenciar melhor uso do solo para atender e equilibrar as demandas concorrentes sendo colocadas sobre ele. Essas demandas podem ser em termos de produção de alimentos, madeira, recreação, industrial e os mais diversos usos. Com projeções de um mundo crescente população com necessidades crescentes de alimentos, há preocupações sobre onde a água extra necessária para atender a aumento da produção virá (FALKENMARK, 2003) Também existem preocupações de que alguns dessas demandas crescentes de recursos terrestres e hídricos podem ser levando à degradação da qualidade e função do ecossistema.

Informações oportunas e precisas sobre o uso e cobertura do solo são importantes para muitas atividades de planejamento e gestão e são considerados um dos elementos essenciais para a modelagem e compreensão da Solo como um sistema. Embora os termos “cobertura do solo “e “uso do solo “às vezes são empregados indistintamente, eles se referem fundamentalmente a conceitos diferentes. O termo cobertura do solo reporta-se aos tipos de características presentes na superfície do solo, milharais, lagos, bordos e concreto rodovias são exemplos de tipos de cobertura do solo. O termo uso do solo se reporta à atividade humana ou função econômica associada a um determinado pedaço de solo. Como exemplo, um pedaço de terreno na orla de uma área urbana pode ser usado para uma única família como habitação (PHAN et al., 2020; VERDE et al., 2020). Dependendo do nível de detalhe do mapeamento, seu uso pode ser descrito como uso urbano, uso residencial ou uso residencial unifamiliar. O mesmo pedaço de solo teria uma cobertura de solo consistindo de telhados, pavimento, grama e árvores. Para um estudo dos aspectos socioeconômicos de planejamento para o uso do solo, seria importante saber que o uso deste terreno são moradias. Para um estudo hidrológico é importante o estudo das características da chuva, vazão e infiltração naquele pedaço de solo (cobertura do solo) e também, sendo importante conhecer a área e distribuição de telhados, calçada, grama e árvores neste trecho (uso do solo). Assim, o conhecimento do uso e cobertura do solo é importante para o planejamento de diversas atividades de gestão de áreas.

Temos também a consciência de que a gestão da terra e da água nem sempre se baseiam em fundamentos científicos, mas em interesses políticos e público em detrimento do

meio, o que pode ter levado, em alguns casos, a uma gestão ineficiente e insustentável dos recursos. Para a melhora desse cenário devemos sempre buscar uma gestão integrada e atender com a mínima agressão ao ambiente, buscando conscientizar os diversos agentes da sociedade interessados nos recursos ambientais, como a população e governos.

As influências da cobertura do solo no ciclo hidrológico são bem conhecidas (RAST; JOHANNESSEN; MAUSER, 2014). A subdisciplina da hidrologia florestal tem como foco o caminho em quais florestas influenciam o ciclo hidrológico. A compreensão científica "moderna" sobre florestas evoluiu na pesquisa com base em estudos sobre o balanço hídrico e estudos detalhados de processos hidrológicos. A grande maioria desses estudos indica diminuição do escoamento de áreas sob florestas em comparação com áreas sob coberturas de terra mais curtas. Além disso, a pesquisa destacou o potencial para diferenças no uso de água entre diferentes tipos de floresta e árvore, e o rápido aumento de a área de plantações florestais desde a década de 1960 tem destaque a importância dos diferentes estágios de crescimento da árvore uso de água. Mas isso acontece de diferentes formas dependendo do local de estudo. Por isso a importância de uma análise criteriosa a respeito da cobertura do e uso do solo, só assim teremos uma real perspectiva e efeito das suas alterações nos locais que estão sendo analisados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Classificação de uso e cobertura do solo

Uma das formas de análise de uso e cobertura do solo é a de classificação, processo já consolidado no meio cientifico e de ampla aceitação acerca dos seus resultados, pois possibilita ao público ver e analisar o produto cientifico gerado e formar suas próprias conclusões. Recentemente temos tido um grande avanço nas áreas cientificas referentes a sensoriamento remoto, modelagem matemática e processamento de dados, possibilitando um amplo e facilitado acesso a uma grande gama de dados e capacidade de processamento, que vem contribuindo muito para uma análise criteriosa e acurada sobre o meio ambiente e suas mudanças com o passar do tempo.

Um exemplo desses avanços é o advento da ferramenta GOOGLE EARTH ENGINE (GORELICK et al., 2017), com uma gigantesca base de dados que é constantemente atualizada e armazenada em servidores onde podemos acessar e operar de maneira remota a partir de instruções que damos a máquina obtemos as informações, análises e dados desejados, dessa forma gerando importantes produtos científicos que podemos apresentar e compartilhar com o público interessado. Uma forma de se obter os dados dessa plataforma é utilizando a linguagem de programação Python (WELCOME TO PYTHON.ORG, [s.d.]), por meio da biblioteca geemap, desenvolvida por (WU, 2020), que possibilita o acesso a ferramenta GOOGLE EARTH ENGINE usando Python. Para o desenvolvimento deste

trabalho, as ferramentas usadas na análise foram colocadas para a obtenção, análise e apresentação dos dados.

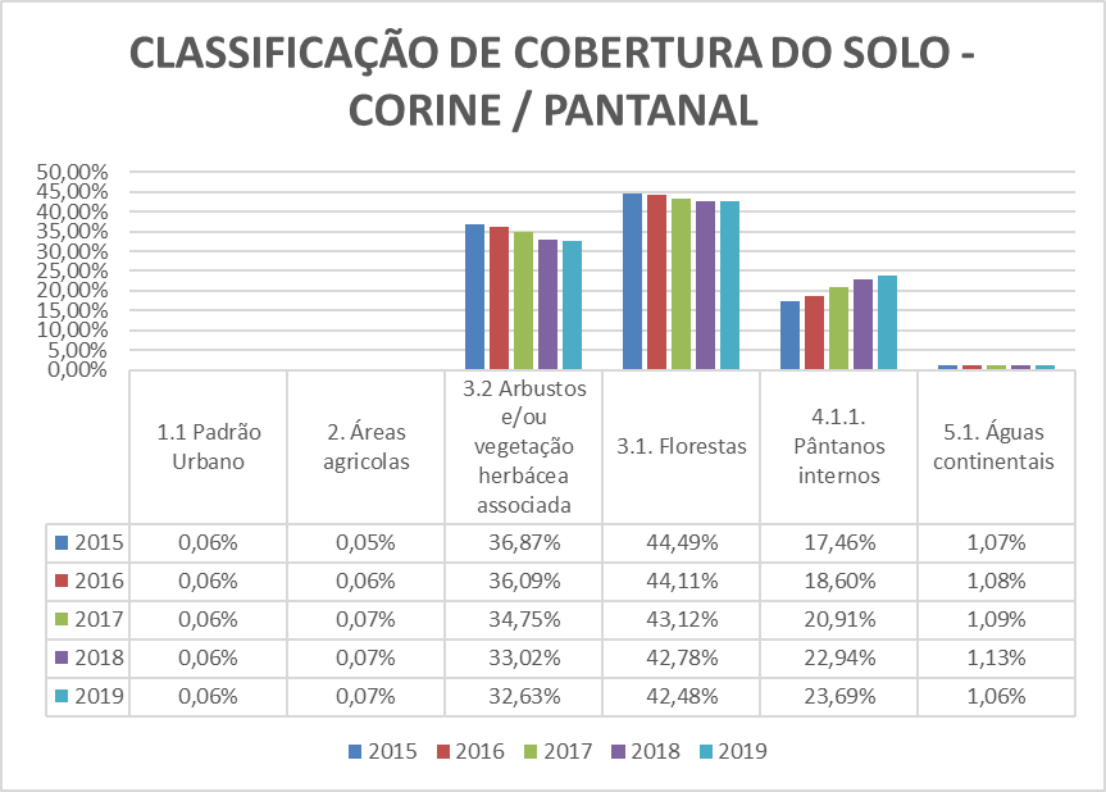
A classificação de cobertura do solo usando bancos de dados já existentes, foi escolhido para este trabalho o CORINE (CLC 2018 — COPERNICUS LAND MONITORING SERVICE, [s.d.]), de onde foram retirados os dados e as bases estatísticas correspondentes. O inventário CORINE (coordenação de informações sobre o meio ambiente) Land Cover (CLC) foi iniciado em 1985 para padronizar a coleta de dados sobre a terra na Europa para apoiar o desenvolvimento de políticas ambientais. O projeto é coordenado pela Agência Europeia do Ambiente (EEA) no âmbito do programa Copernicus da UE e executado por equipes nacionais do local. O número de países participantes aumentou ao longo do tempo, incluindo atualmente 33 países membros (EEE) e seis países cooperantes (EEA39). O CLC2018 é um dos conjuntos de dados produzidos dentro do quadro do programa Corine Land Cover referente ao status da cobertura / uso do solo do ano 2018. O ano de referência do primeiro inventário CLC foi 1990 e a primeira atualização criada em 2000. Posteriormente, o ciclo de atualização tornou-se 6 anos. As imagens de satélite fornecem a base geométrica e temática para o mapeamento com dados in-situ como informações auxiliares essenciais. Os parâmetros técnicos básicos de CLC (ou seja, 44 classes de nomenclatura, unidade de mapeamento mínimo de 25 hectares (MMU) e largura de mapeamento mínima de 100 metros) não mudaram desde o início, portanto, os resultados dos diferentes inventários são comparáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação da cobertura do solo do Pantanal

A partir disso, sem tem uma base de dados como a disponível em: (COPERNICUS CORINE LAND COVER | EARTH ENGINE DATA CATALOG, [s.d.]). Que tem mapas temáticos de classificação do mundo inteiro. É importante notar que esse *dataset* tem uma resolução espacial mínima de 100 m, portanto é uma classificação de cobertura do solo feita com uma resolução considera baixa para escalas locais, porem adequada para escalas regionais a nacionais, deste modo, uma escala adequada para uma análise macro da área de estudo. Como comentado anteriormente o banco de dados CORINE classifica a cobertura do solo em 44 classes distintas, para facilitar a apresentação do mapa em formato impresso, nós condensamos as 44 classes em 8 classes como apresentado no Figura 1 e Figura 2.

Figura 1. Classificação de cobertura do solo do pantanal 2015-2019



	1.1 Padrão Urbano	2. Áreas agricolas	3.2 Arbustos e/ou vegetação herbácea associada	3.1. Florestas	4.1.1. Pântanos internos	5.1. Águas continentais
2015	0,06%	0,05%	36,87%	44,49%	17,46%	1,07%
2016	0,06%	0,06%	36,09%	44,11%	18,60%	1,08%
2017	0,06%	0,07%	34,75%	43,12%	20,91%	1,09%
2018	0,06%	0,07%	33,02%	42,78%	22,94%	1,13%
2019	0,06%	0,07%	32,63%	42,48%	23,69%	1,06%

A partir de uma análise na Figura 1 podemos ver as mudanças ao longo dos anos de 2015 a 2019. Os dados estão apresentados em termos percentuais sobre uma área de 138183 km² como comentado antes, portanto cada variação de 1% equivale a uma área de 1383.83 km². Foram observadas para área urbana a mesma área de 2015, uma variação de 0.02% em área agrícola, de -4.24%, para vegetação herbácea, -2.01% para a área de florestas, 6,23% para pântanos internos e para e águas continentais que abrange rios e lagos não foi observada variação significativa.

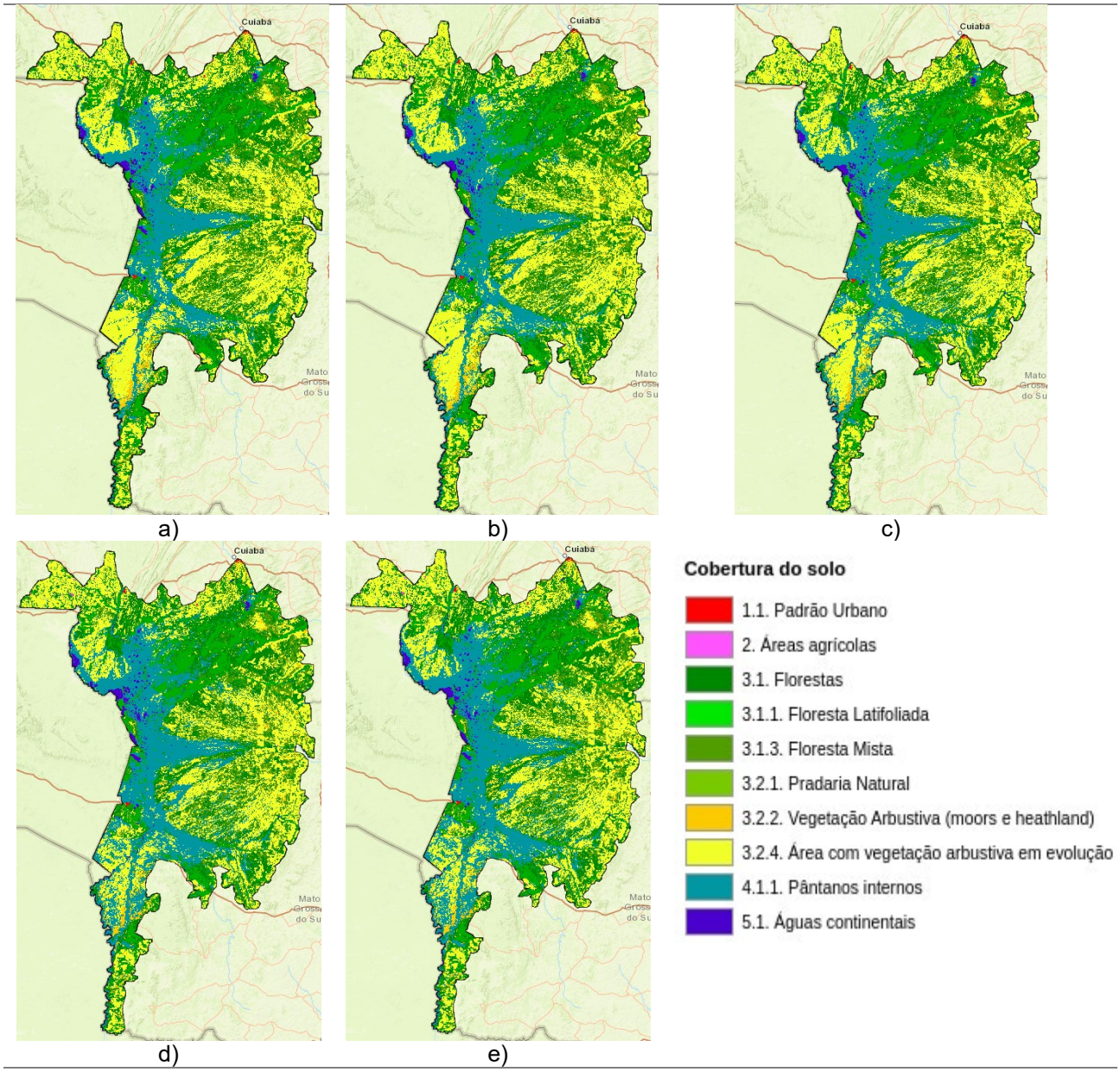


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo do Pantanal, gerados a partir de dados do Corine, os anos representados são organizados como: a) 2015, b)2016, c)2017, d)2018, e)2019

O vetorial em formato *shapefile* da região (formato usado para delimitar a área de estudo) do Pantanal Brasileiro, foi obtido a partir do banco de dados gerenciado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (TERRABRASILIS – PLATAFORMA DE DADOS GEOGRÁFICOS, [s.d.]), que possui um extenso banco de dados sobre os mais diversos temas do Brasil. O Pantanal Brasileiro representa uma extensão de 138183 km² como apresentado no portal EMBRAPA (O PANTANAL - PORTAL EMBRAPA, [s.d.]).

Para a apresentação dos dados referentes à Figura 2 foi elaborado um quadro (Quadro 1) em que foi realizada a conversão das legendas que é apresentada na Figura 1.

Legenda Original corine (português)	Valor Original	Valor/Legenda adaptada (Paranhos et.al, 2000)
Desconhecido. Não há ou não há dados de satélite suficientes disponíveis.	0	Não consta no mapa
Arbustos. Plantas lenhosas perenes com caules persistentes e lenhosos e sem caule principal definido com menos de 5 m de altura. A folhagem do arbusto pode ser perene ou caduca.	20	3.2.2. Vegetação arbustiva
Vegetação herbácea. Plantas sem caule persistente ou brotos acima do solo e sem estrutura firme definida. A cobertura de árvores e arbustos é inferior a 10%.	30	3.2.4. Área com vegetação arbustiva em evolução
Vegetação / agricultura cultivada e manejada. Terras cobertas com culturas temporárias seguidas de colheita e um período de solo nu (por exemplo, sistemas de cultivo único e múltiplo). Observe que as culturas lenhosas perenes serão classificadas como o tipo apropriado de cobertura de terra de floresta ou arbusto.	40	2. áreas agricolas
Urbano / edificado. Terreno coberto por edifícios e outras estruturas feitas pelo homem.	50	1.1. padrão urbano
Vegetação nua / esparsa. Terras com solo, areia ou rochas expostas e nunca apresentam mais de 10% de cobertura vegetal em qualquer época do ano.	60	Não consta no mapa
Neve e gelo. Terras cobertas de neve ou gelo ao longo do ano.	70	Não consta no mapa
Corpos d'água permanentes. Lagos, reservatórios e rios. Podem ser corpos de água doce ou salgada.	80	5.1 águas continentais
Pantanal herbáceo. Terras com mistura permanente de água e vegetação herbácea ou lenhosa. A vegetação pode estar presente em água salgada, salobra ou doce.	90	4.1.1. Pântanos internos
Musgo e líquen.	100	Não consta no mapa
Floresta fechada, folha de agulha perene. Copa das árvores> 70%, quase todas as árvores de folhas agulhas permanecem verdes o ano todo. O dossel nunca está sem folhagem verde.	111	Não consta no mapa
Floresta fechada, folha larga perene. Copa das árvores> 70%, quase todas as árvores de folha larga permanecem verdes durante todo o ano. O dossel nunca está sem folhagem verde.	112	3.1. Florestas
Floresta fechada, folha decídua da agulha. O dossel das árvores> 70% consiste em comunidades de árvores de folhas agulhas sazonais com um ciclo anual de períodos de folhagem e folhagem.	113	Não consta no mapa
Floresta fechada, folha larga caducifólia. O dossel das árvores> 70% consiste em comunidades sazonais de folhas largas com um ciclo anual de períodos de folhagem e folhagem.	114	3.1.4. Floresta Latifoliada
Floresta fechada, mista.	115	Não consta no mapa
Floresta fechada, não correspondendo a nenhuma das outras definições.	116	3.1. Florestas
Floresta aberta, folha de agulha perene. Camada superior - árvores 15-70% e segunda camada - mistura de arbustos e pastagens, quase todas as árvores de folhas agulhas permanecem verdes o ano todo. O dossel nunca está sem folhagem verde.	121	Não consta no mapa
Floresta aberta, folha larga perene. Camada superior - árvores 15-70% e segunda camada - mistura de arbustos e pastagens, quase todas as árvores de folha larga permanecem verdes durante todo o ano. O dossel nunca está sem folhagem verde.	122	3.2.1. Pradaria Natual
Floresta aberta, folha decídua da agulha. Camada superior - árvores 15-70% e segunda camada - mista de arbustos e pastagens, consiste em comunidades sazonais de árvores de folhas agulhas com um ciclo anual de períodos de folhagem e folhagem.	123	Não consta no mapa
Floresta aberta, folha larga caducifólia. Camada superior - árvores 15-70% e segunda camada - mistura de arbustos e pastagens, consiste em comunidades sazonais de árvores de folha larga com um ciclo anual de períodos de folhagem e folhagem.	124	Não consta no mapa
Floresta aberta, mista.	125	3.1.3. Pradaria Natual
Floresta aberta, não correspondendo a nenhuma das outras definições.	126	3.1.3. Pradaria Natual
Oceanos, mares. Podem ser corpos de água doce ou salgada.	200	Não consta no mapa

Quadro 1. Legenda original e legenda adaptada CORINE, os itens que não aparecerem no mapa de classificação de uso do solo foram marcados com 'não consta no mapa

Com base nas técnicas usadas e nos resultados da análise preliminar realizada através do GEE e Python, constatamos que estas plataformas são ferramentas poderosas para analisar uma grande variedade de dados simultaneamente, em um sistema consolidado. No entanto, apoiar a análise espacial e temporal em conjunto não é uma tarefa óbvia para a plataforma. Começando com uma pequena área de estudo, tentamos testar os limites do sistema aplicando-o para todo o Pantanal que possui uma área bem ampla. A análise conduzida com o GEE e Python, conseguiu fornecer dados sobre as mudanças na cobertura do solo do Pantanal durante os últimos 5 anos (2015-2019) usando os dados de NDVI das imagens CORINE.

A classificação das imagens foi feita em algoritmo de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) no Python e também no GEE, e a detecção de alterações foi modelada com base nos melhores resultados de classificação, visto que, até o momento, o GEE não fornece algoritmo de comparação pós-classificação. No geral, o GEE provou ser uma ótima ferramenta e alternativa para os usuários, sem desconsiderar o sensoriamento remoto e o software e a plataforma de processamento GIS comercialmente estabelecidos. Os resultados da classificação de NDVI são bastante satisfatórios e produziram boa precisão. Embora, houvesse um problema com pixels classificados incorretamente devido à desconsideração dos estágios fenológicos das culturas, mas a capacidade geral do GEE para realizar a classificação de NDVI é comprovada em termos de outros aspectos técnicos e de processamento.

Outro ponto interessante e importante sobre processos de classificação, é que o GEE possui um bom repositório no qual os usuários podem acessar e customizar, permitindo que usuários sem experiência em programação possam acompanhar facilmente a documentação e codificação. O desempenho do GEE no consumo de tempo depende muito da força e da continuidade da conexão de sua internet. No geral, o GEE conseguiu cumprir todos os objetivos exigidos dentro dos escopos e limitações projetados. Embora o GEE seja uma plataforma muito promissora para realizar processamento em larga escala e cálculo geoespacial, os usuários ainda precisam entender os fundamentos por trás do processamento de imagens para garantir a qualidade e confiabilidade da análise realizada.

Nos dias de hoje, quando os dados estão se tornando mais densos, especialmente a disponibilidade da nova série Sentinel, os usuários de dados de sensoriamento remoto estão procurando e explorando mais opções prontas para uso, como o que é oferecido pelo Google Earth Engine. Plataformas como essas definitivamente são uma vantagem em termos de manipulação de grandes conjuntos de dados e criação de visualizações poderosas. A facilidade de uso dessas plataformas também atrai usuários “não especialistas” de imagens de satélite.

Este estudo fornece uma metodologia eficiente para classificação temporal do uso do solo e detecção de floresta para ambientes alagados como é o caso do Pantanal, enquanto mostra o desflorestamento e o avanço de outros usos do solo como o caso da agricultura, combinados ao longo do tempo. O Google Earth Engine foi usado para classificar

as imagens do satélite Landsat para rastrear a mudança da cobertura da Ilha Haitan de 1990 a 2019 (Lin et al., 2020). Um banco de dados de sensoriamento remoto multitemporal foi disponibilizado instantaneamente por meio da biblioteca de dados do GEE e do ambiente de computação em nuvem, que fornece acesso à computação de alto rendimento sem custos para usos não comerciais.

CONCLUSÃO

Com base na análise preliminar realizada usando GEE, descobrimos que esta plataforma é uma ferramenta poderosa para analisar uma ampla variedade de dados simultaneamente, em especial na classificação de uso do solo e podendo integrar a outros sistemas consolidados como o Python. Contudo, apoiando a análise espacial e temporal juntas não é uma tarefa óbvia para a plataforma, necessita de treinamento e de experiência na busca de dados. Começando com uma pequena área de estudo, tentamos para testar os limites do sistema GEE, para só depois aplicar ao Pantanal. Com base nos tempos limites computacionais e a necessidade de equipamento apropriado para rodas os dados, apesar da área de estudo ser pequena, achamos que é de importância fundamental para carregar estrategicamente e agregar nossos dados de entrada em GEE, especialmente para conduzir a análises continentais e em escala global. A análise conduzida usando GEE conseguiu fornecer entradas para os diferentes usos do solo ao longo dos cinco anos analisados e as diferenças entre as classes ao longo desse tempo, que ocorreu para os anos 2015-2019 usando os dados CORINE. É interessante agregar dados de outros satélites como, por exemplo, os dados do Landsat e Sentinel, quando ocorrer grandes lacunas nos dados, e também a presença de cobertura de nuvens afetando grandes partes do dos dados ao longo dos períodos analisados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação 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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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 a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos ainda a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, processo número 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

CLC 2018 — Copernicus Land Monitoring Service. [s.d.]. Disponível em: https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=metadata. Acesso em: 5 abr. 2021.

COPERNICUS CORINE Land Cover | Earth Engine Data Catalog. [s.d.]. Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_CORINE_V20_100m. Acesso em: 6 abr. 2021.

FALKENMARK, Malin. Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challengesPhilosophical Transactions of the Royal Society B: Biological SciencesRoyal Society, , 2003. DOI: 10.1098/rstb.2003.1386. Disponível em: https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2003.1386. Acesso em: 5 abr. 2021.

GORELICK, Noel; HANCHER, Matt; DIXON, Mike; ILYUSHCHENKO, Simon; THAU, David; MOORE, Rebecca. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, [S. l.], v. 202, p. 18–27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

LIN, L. et al. Monitoring Land Cover Change on a RapidlyUrbanizing Island Using Google Earth Engine. Appl. Sci., v. 10, p. 7336, 2020. doi:10.3390/app10207336

O Pantanal - Portal Embrapa. [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/pantanal/apresentacao/o-pantanal. Acesso em: 6 abr. 2021.

PHAN, T. N. et al. Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. Remote Sens. v. 12, p. 2411, 2020. doi:10.3390/rs12152411

RAST, Michael; JOHANNESSEN, Johnny; MAUSER, Wolfram. Review of Understanding of Earth's Hydrological Cycle: Observations, Theory and ModellingSurveys in GeophysicsKluwer Academic Publishers, , 2014. DOI: 10.1007/s10712-014-9279-x.

TERRABRASILIS – Plataforma de dados geográficos. [s.d.]. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/. Acesso em: 6 abr. 2021.

VERDE, N. et al. National Scale Land Cover Classification for Ecosystem Services Mapping and Assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data and Google Earth Engine. Remote Sens. v. 12, p. 3303, 2020, doi:10.3390/rs12203303

Welcome to Python.org. [s.d.]. Disponível em: https://www.python.org/. Acesso em: 6 abr. 2021.

WU, Qiusheng. geemap: A Python package for interactive mapping with Google Earth Engine. Journal of Open Source Software, [S. l.], v. 5, n. 51, p. 2305, 2020. DOI: 10.21105/joss.02305.

CAPÍTULO 10

USO DOS ÍNDICES NDVI E NDWI EM ANÁLISE TEMPORAL DA MASSA VEGETAL DA RESERVA PARTICULAR DE PROTEÇÃO NATURAL PIONEIRA DO RIO PIQUIRI (PANTANAL-MS)

ALAN DOS SANTOS ELEUTÉRIO
Geógrafo, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS
alaneleuteriocg@gmail.com

CÉSAR CLAUDIO CÁCERES ENCINA
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

DHONATAN DIEGO PESSI
Doutorando em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

ANTONIO CONCEIÇÃO PARANHOS FILHO
Livre-Docente pelo Instituto de Geociências da USP, Professor Titular da UFMS, Campo Grande, MS

ABSTRACT: In this study, we aim to evaluate the protection effectiveness of the State Private Reserve of the Natural Patrimony (PRNP) Pioneira of Rio Piquiri, belonging to the Pantanal Biome, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI). The PRNP assessment can be performed using remote sensing and geoprocessing techniques, based on the use of the multispectral satellite image of the TM and OLI / TIRS sensors present in the satellites Landsat 5 and 8 respectively (U.S. Geological Survey). The processing of the data collected was performed on the Open Source Software QGIS (QGIS Development Team, 2019) which pointed out occasional changes in the vegetation cover between the years 2009 and 2019, both in the PRNP and in its buffer zone, showing low human interference in the region.

Keywords: Pantanal, conservation unit, remote sensing

RESUMO: Neste estudo, buscou-se avaliar a efetividade de proteção da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Estadual Pioneira do Rio Piquiri, pertencente ao Bioma pantanal, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) e Índice de Diferença Normalizada da Água (Normalized Difference Water Index - NDWI). A avaliação da RPPN pode ser realizada com uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, baseado no uso de imagem de satélite multiespectral dos sensores TM e OLI/TIRS presentes nos satélites Landsat 5 e 8 respectivamente (U.S. Geological Survey). O processamento dos dados levantados foi realizado no Software de código livre QGIS (QGIS Development Team, 2019), o qual apontou mudanças pontuais da cobertura vegetal entre os anos de 2009 e 2019, tanto na RPPN como em sua zona de amortecimento e assim foi possível observar aparente recuperação de vegetação. A técnica utilizada nesse trabalho se valeu de software livre e imagens que podem ser obtidas na internet, o que permite sua replicabilidade em outros estudos de caso de natureza semelhante.

Palavras-chave: Pantanal, unidade de conservação, sensoriamento remoto

INTRODUÇÃO

O Bioma do Pantanal, é considerado uma das maiores extensões de áreas alagadas do mundo (ICMBIO, 2018), com uma área aproximada de 140 mil km² (MIOTO et al., 2012) que se estende entre os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além da parcela pertencente aos países limítrofes, Paraguai e Bolívia. A região é uma planície aluvial influenciada por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai, influenciada por quatro grandes biomas: Amazônia, Cerrado, Chaco e Mata Atlântica (PRANCE et al., 1982).

Devido aos inúmeros atributos que o bioma possui, a UNESCO (Organização nas Nações Unidas para a Educação, Saúde, Ciência e Cultura) concedeu ao Pantanal os títulos de Reserva da Biosfera do Pantanal e Patrimônio Natural da Humanidade, em 2000, por representar uma das mais exuberantes e diversificadas reservas naturais da Terra. Apesar de sua importância, de acordo com o Programa de Monitoramento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS, estudo realizado com imagens de satélite de 2009, o bioma Pantanal mantem 83,07% de sua cobertura vegetal nativa e apenas 4,6% do Pantanal encontram-se protegidos por unidades de conservação, dos quais 2,9% correspondem a UCs de proteção integral e 1,7% a UCs de uso sustentável (BRASIL, 2015).

Atualmente as Unidades de Conservação representam a materialização legal da conservação dos recursos naturais presentes em território nacional, como pode ser observado na Lei n° 9.985 de 18 de julho de 2000 que define os conceitos de conservação como:

> [...]Conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem a proteção a longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais.

A degradação do ambiente natural, o uso não sustentável dos recursos naturais e as mudanças climáticas têm sido algumas das preocupações recorrentes de vários ambientalistas no mundo inteiro (IPCC, 2007), e as RPPNs assumem, cada vez mais, os objetivos de proteção de recursos hídricos, manejo de recursos naturais, desenvolvimento de pesquisas científicas, manutenção de equilíbrios climáticos e ecológicos entre vários outros serviços ambientais (IMASUL, 2010).

Desde os anos 2000, a Embrapa Pantanal mantem um programa de monitoramento das variáveis meteorológicas e das ocorrências de incêndios no Pantanal Mato-Grossense (SORIANO et al, 2008), tal monitoramento teve início devido aos excessivos aumentos de foco de incêndio no bioma, que além de suas características climáticas favoráveis a aparição de focos (no período de seca), ainda sofre com o avanço do pasto.

Logo, o mapeamento da cobertura do solo representa uma importante ferramenta de gestão e planejamento ambiental, e somado ao uso do sensoriamento remoto, é certamente a alternativa mais apropriada para se estudar essa dinâmica (PARANHOS FILHO et al., 2013). De maneira a contribuir para com esta importante parcela do Pantanal Sul-ma-

to-grossense, esse trabalho avaliou a efetividade da conservação da RPPN Pioneira do Rio Piquiri mediante ferramentas de sensoriamento remoto, utilizando cenas retiradas de sensores embarcados em satélites. Esses dados são utilizados como fonte de informações de ecossistemas e paisagens, sendo o levantamento do programa Landsat (USGS) o mais utilizado para mapeamento da dinâmica espaço-temporal de uso da terra. Uma de suas principais aplicações é o apoio ao monitoramento de áreas de preservação e o monitoramento da cobertura vegetal (MIRANDA; COUTINHO, 2004).

Portanto, essa pesquisa avaliou o grau de conservação da Reserva Particular de Proteção Natural do Rio Piquiri por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, interpretando os valores de NDVI e NDWI, no intervalo dos anos de 2009 e 2019.

METODOLOGIA

Área de estudo

A Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Estadual Pioneira do Rio Piquiri está localizada nas coordenadas (UTM) 664.970,47 m E e 8.062.818,35 m S 21S (centroide) dentro dos limites municipais de Corumbá, na porção noroeste do estado do Mato Grosso do Sul. Contornando a porção sul do Rio Correntes que divide os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, como é possível observar na Figura 1.

A Resolução SEMAC n° 13 de 30 de julho de 2013, com uso das atribuições que conferem o art. 93, parágrafo único, inciso II da constituição Estadual, com o número de matrícula 24.153, define a RPPN apresentando uma área de 195, 86 ha da planície alagada do Pantanal Sul-mato-grossense, representando a 49 (Quadragésima nona) das 50 reservas instauradas nos limites de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2010).

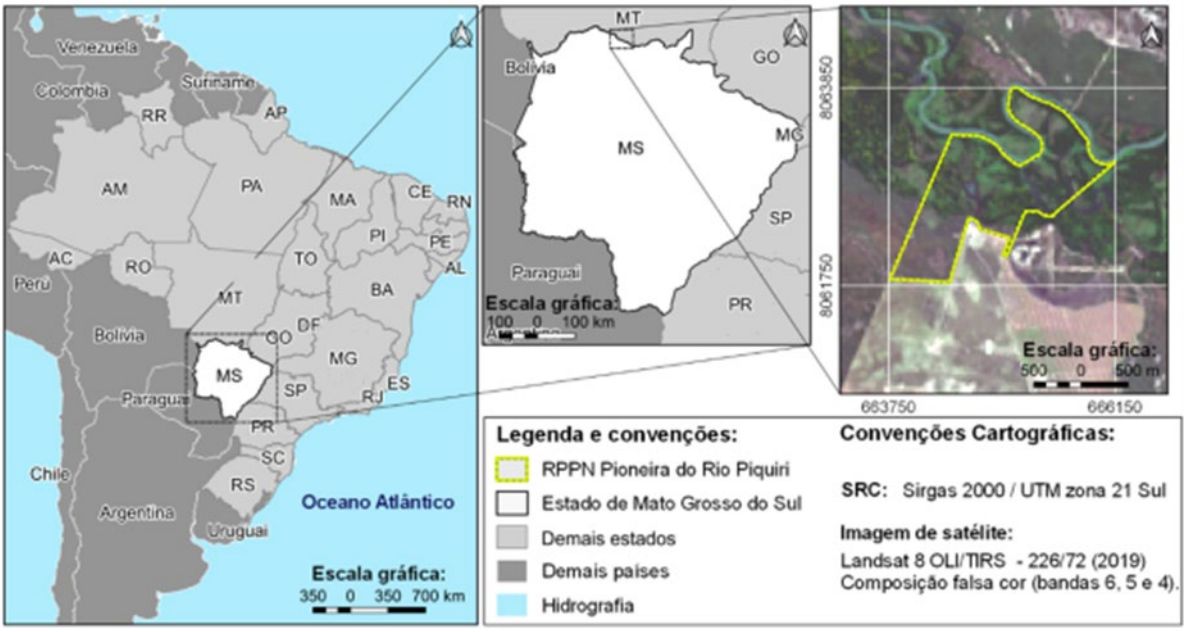


Figura 1. Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Estadual Pioneira do Rio Piquiri, localizada no Norte de Mato Grosso do Sul, ao lado do Rio Piquiri. Fonte: IBGE/DGC, (2019); USGS, (2019)

Reserva pertencente ao grupo de Unidades de Conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai, inseridos na Zona Planície Pantaneira (ZPP) de acordo com o Macrozoneamento Econômico do Mato Grosso do Sul (ZEE/MS, 2015). A Unidade de conservação (UC) está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai, na sub-bacia hidrográfica do Paiaguás, que representa 19% da área total da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai, de acordo com (ANA, 2005). A Unidade de Conservação Também abrange parcela da Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Correntes.

Com base no levantamento realizado por Köppen e atualizado por Alvares et al. (2013), a região está inserida no Clima tropical com estação seca de Inverno (Aw), caracterizado como região de clima quente e úmido, temperatura média do mês mais frio superior a 18ºC com estações secas no mês de outubro (inverno). Quanto à precipitação da região, no mês mais seco menor que 60mm (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015), somado às características do terreno com cotas altimétricas oscilando entre 80 e 150m (ADÁMOLI, 1986), a região passa por mudanças sazonais de alagamentos e secas. Devido à baixa declividade dessa planície, a água que cai nas cabeceiras do rio Paraguai chega a levar quatro meses ou mais para atravessar todo o Pantanal.

Coleta de imagens

O banco de dados da USGS conta com inúmeras imagens de diferentes satélites, para a análise deste trabalho foram utilizadas imagens dos sensores OLI/TIRS e TM, embarcados nos satélites Landsat 8 e 5 respectivamente. As bandas encontradas no sensor TM do satélite Landsat 5, citado anteriormente, podem ser observadas na Tabela 1, assim como os dados encontrados nos sensores OLI/TIRS do satélite Landsat 8 na Tabela 2.

Tabela 1. Especificações das bandas espectrais do sensor TM do satélite Landsat 5. Fonte: Adaptado de USGS (2019)

Sensor	Bandas espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	BANDA 01 (Azul)	0.45 - 0.52 µm	30 m	16 dias	185 x 185 km²	8 bits
	BANDA 02 (Verde)	0.50 - 0.60 µm				
	BANDA 03 (Vermelho)	0.63 - 0.69 µm				
	BANDA 04 (Infravermelho próximo)	0.76 - 0.90 µm				
	BANDA 05 (Infravermelho médio)	1.55 - 1.75 µm				
	BANDA 06 (Infravermelho termal)	10.4 - 12.5 µm	120 m			
	BANDA 07 (Infravermelho médio)	2.08 - 2.35 µm	30 m			

Tabela 2. Especificações das bandas espectrais do sensor OLI e TIRS do satélite Landsat 8. Fonte: Adaptado de USGS (2019)

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	BANDA 01 (Azul costeiro)	0.43 - 0.45 µm	30 m	16 dias	170 x 185 km²	16 bits
	BANDA 02 (Azul)	0.45 - 0.51 µm				
	BANDA 03 (Verde)	0.53 - 0.59 µm				
	BANDA 04 (Vermelho)	0.64 - 0.67 µm				
	BANDA 05 (Infravermelho próximo)	0.85 - 0.88 µm				
	BANDA 06 (Infravermelho médio)	1.57 - 1.65 µm				
	BANDA 07 (Infravermelho médio)	2.11 - 2.29 µm				
	BANDA 08 (Pancromática)	0.50 - 0.68 µm	15 m			
TIRS (Termal Infrared Sensor)	BANDA 09 (Cirrus)	1.36 - 1.38 µm	30 m			
	BANDA 10 (Infravermelho termal)	10.6 - 11.19 µm	100 m			
	BANDA 11 (Infravermelho termal)	11.5 - 12.51 µm	100 m			

Com o intuito de apresentar melhor resultado da avaliação de cobertura vegetal proposta pelo trabalho, as imagens foram coletadas em períodos do mês semelhantes, de acordo com a disponibilidade de imagens com resolução adequada. De maneira a corroborar para os critérios supracitados, foram utilizadas exclusivamente imagens Landsat, especificamente do mês de setembro, estação seca, para garantir maior distinção entre as fitofisionomias.

Para obtenção das imagens de satélite, foi necessário realizar o cadastro na plataforma Earth Explorer da USGS (Unites States Geological Survey). Nela é possível realizar o download de todas as bandas dos satélites Landsat, além de uma série de satélites utilizados para análises ambientais em geral, de forma gratuita.

Para a melhoria do grau de precisão espectral das imagens utilizadas, houve a necessidade de um pré-processamento das imagens, realizando o georreferenciamento por meio do plugin georreferenciador e a correção atmosférica pela metodologia DOS1 Correction, disponível no plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), ambas ferramentas do Software QGIS (QGIS Development Team, 2019) (Figura 2).

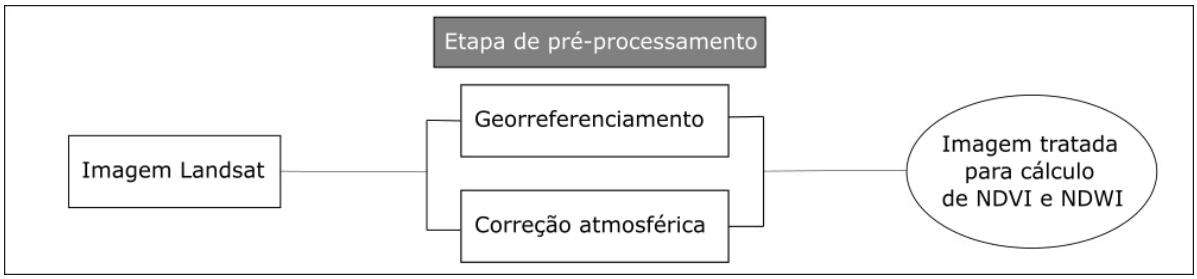


Figura 2. Fluxograma com a metodologia de pré-processamento das imagens Landsat 5 e 8. Etapa de pré-processamento com correções atmosférica e georreferenciamento para serem usadas nos cálculos de índices

Foram utilizadas cenas dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, da órbita 226 e ponto 072 de 07 de setembro de 2009 e 19 de setembro de 2019. Ambas as imagens supracitadas foram georreferenciadas utilizando os pontos limítrofes da RPPN de acordo com a Resolução SEMAC n° 013 de 2013. Mostra-se importante ressaltar que este trabalho buscou utilizar apenas de imagens disponibilizadas de forma gratuita, sem o uso acessório de imagens de melhor resolução, em sua maioria, pagas.

Foi utilizado o *software* QGIS versão 3.14 (QGIS Development Team, 2019) para realização dos processos de georreferenciamento, vetorização dos limites da Unidade de conservação e cálculo dos índices de NDVI e NDWI, seja para processamento quanto transformação para o sistema de projeção adotado (UTM, SIRGAS 2000) no fuso 21 Sul. O software QGIS representa na atualidade um dos principais programas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito, reunindo em uma mesma plataforma, ferramentas

de pré e pós-processamento de imagem, além das possibilidades de criação, edição e cruzamento de informações, sejam elas em formato vetorial ou raster.

Cálculo dos índices de vegetação NDVI e NDWI

Posterior ao recorte das imagens para as áreas de interesse (Reserva Particular do Patrimônio Natural Estadual Pioneira Rio Piquiri e sua Zona de Amortecimento) foi realizado o processo de cálculo do NDVI utilizando a ferramenta “calculadora raster” do software QGIS versão 3.14, aplicada por intermédio da Equação 1 (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

Dos quais,

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR: Refletância da banda infravermelho próximo;

R: Refletância da banda vermelha.

O método de cálculo do NDVI proposto por Rouse provem da característica da vegetação fotossinteticamente ativa de refletir a faixa do espectro correspondente ao Infravermelho próximo (NIR) e absorver a faixa do espectro correspondente ao vermelho (Rosendo, 2005). Cabe observar que o índice NDVI apesar de facilitar a compreensão dos alvos presentes nas cenas, ele acaba por limitar-se a avaliações quantitativas e qualitativas de vegetação, podendo apresentar confusões quanto a objetos que diferem. Tal característica pode trazer inconsistências na identificação de focos de incêndio ou cicatrizes de queimada por exemplo, desastre este na qual o pantanal brasileiro sofre com frequência.

De maneira a minimizar os possíveis erros inerente a supracitada limitação, os resultados obtidos mediante NDVI e NDWI serão comparados com a mesma cena mesclada entre as bandas SWIR-2, SWIR-1 e Green, que devido a presença do infravermelho médio (SWIR-2) destaca áreas de queimada.

Posterior ao cálculo do índice NDVI, a imagem passa a variar entre os valores de -1 e 1, devido ao processo de normalização dos pixels da imagem onde é observada a relação da resposta espectral da vegetação. Logo, quanto maior a proximidade do valor máximo (1) maior a densidade e saúde da vegetação na superfície. Consequentemente, quanto maior a proximidade do valor mínimo (-1) demonstram presença de água, solo exposto, ausência de vegetação ou vegetação em processo de degradação. A interpretação dos resultados de cálculo do NDVI foi realizada por meio de 25 amostras das cenas utilizadas, de maneira

a extrair o intervalo de resposta espectral das diferentes feições observadas na imagem (água, área úmida, vegetação densa, vegetação rasteira, solo exposto).

Como observado anteriormente, a resposta da clorofila das plantas ao infravermelho próximo possibilita variados tipos de análise, como a identificação da concentração de vegetação, saúde das plantas, entre outros aspectos. Porém, não menos importante, mostra-se necessário salientar que a resposta da vegetação depende também da umidade presente na cena. De maneira que, o período em que a cena foi obtida impacte diretamente no grau de precisão das respostas espectrais encontradas na região.

O NDWI surge como um índice complementar ao NDVI pois este índice apresenta limitações ao avaliar o conteúdo de água na vegetação (CECCATO et al., 2002). Assim, se faz necessário utilizar os dois índices para avaliar as condições da vegetação (KAMILA; PAL, 2015). Desse modo, usou-se o parâmetro proposto por Gao (1996), onde os valores de NDWI também variam entre -1 e 1. Porém, para NDWI ≥ 0 tem-se áreas com presença de água e para NDWI ≤ 0 não ocorre a presença de água na superfície do terreno (PEREIRA; MORAIS, 2015). O parâmetro supracitado é elaborado de acordo com a equação abaixo (Equação 2).

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (2)$$

Dos quais,

NDWI: Índice de Diferença Normalizada da Água;

Green: Refletância da banda verde;

NIR: Refletância da banda infravermelho próximo.

As classes obtidas anteriormente serviram de base para o cálculo da área de interesse, possibilitando visualizar as mudanças apresentadas na área de estudo. Cabe especificar que o processo de obtenção das amostras parte da vetorização das áreas escolhidas para representar cada classe e recorte da imagem, e posteriormente ao cálculo dos índices escolhidos, obtém-se os valores de pixel encontradas nas amostras (raster). A Figura 3 apresenta todos os procedimentos de pré e pós processamento de imagem que permitiram a obtenção dos resultados de análise.

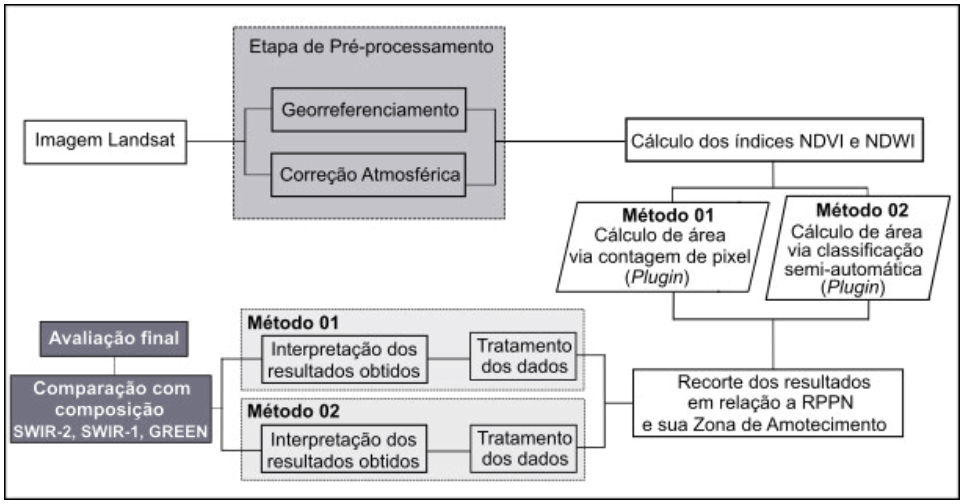


Figura 3. Fluxograma da metodologia de elaboração dos resultados da análise dos cálculos de índices de vegetação aplicados nas imagens utilizadas nesse estudo

RESULTADOS

A distribuição espacial do resultado de cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada pode ser observada na Figura 4, assim como o resultado final dos procedimentos de pós processamento e interpretação dos valores obtidos.

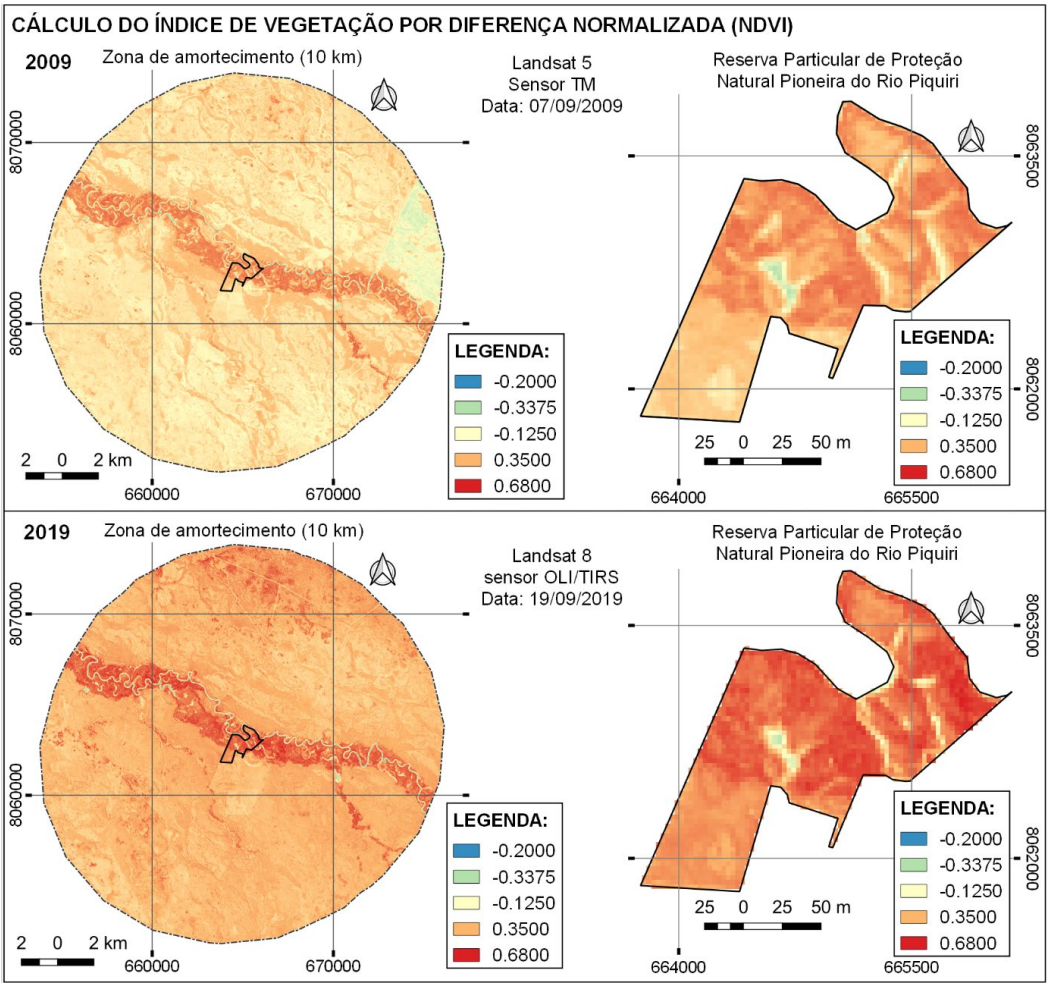


Figura 4. Representação cartográfica da resposta de cálculo de NDVI dos anos de 2009 e de 2019

Na Figura 4 é possível observar maior concentração de resultados próximos a 1 (vegetação fotossintericamente ativa) na Zona de amortecimento do ano de 2019 assim como valores próximos de -1 menos pronunciados. Já dentro dos limites da RPPN foi observado diminuição discreta nos valores de NDVI. No entanto para identificação do real impacto quantitativo sobre a massa vegetal da região e somada a proximidade dos valores obtidos, mostra-se necessário a quantificação dos valores de área de cada uma das classes identificadas, levando em consideração os intervalos de resposta espectral do NDVI das amostras. Para tanto, foram utilizados dois métodos de cálculo, são eles:

- Uso do plugin r.report do software QGIS de cálculo de pixels (método 1).
- Classificação semi-automática supervisionada a objeto da cena fazendo uso do plugin Semi-AutomaticClassificationPlugin (SCP) (método 2).

O procedimento citado acima está caracterizado no Fluxograma abaixo (Figura 5).

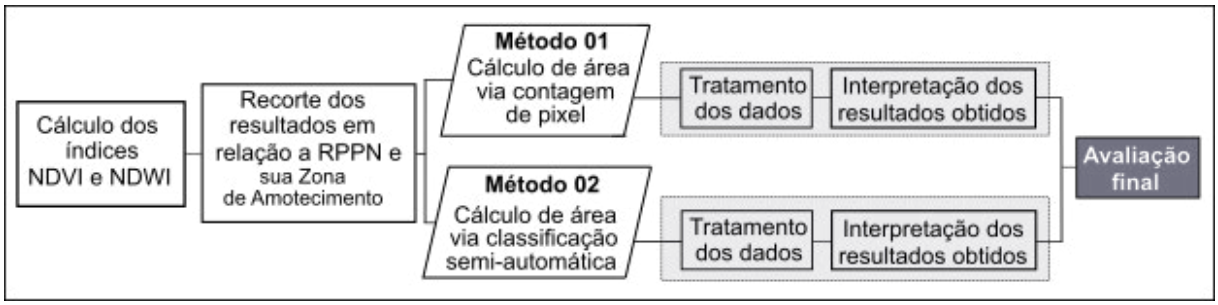


Figura 5. Fluxograma dos procedimentos para obtenção de área nas cenas classificadas para cálculo de NDVI e NDWI

Ambos os processos providenciam a identificação quantitativa das classes, porém, para cálculo via plugin r.report, o software realiza a contagem de pixels. Já a classificação semi-automática supervisionada faz uso das amostras para transformar o arquivo raster em vetor, para posterior cálculo de área em sua tabela de atributos. Ambos os processos foram utilizados para definição das classes encontradas na cena, de maneira a avaliar individualmente cada índice.

No procedimento de cálculo via cálculo de pixel (método 1) realizado com os dados raster podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado quantitativo de área da metodologia de cálculo 1

CLASSE	ZONA DE AMORTECIMENTO			RPPN		
	2009	2019	Diferença	2009	2019	Diferença
	Área (km²)			Área (km²)		
Água	0,3270	0,3120	-0,0150	0,0001	0,0060	0,0059
Área úmida	1,1440	6,3920	5,2480	0,0125	0,0080	-0,0045
Vegetação Densa	31,8410	40,9530	9,1120	1,1350	0,9650	-0,1700
Vegetação Rasteira	245,8030	240,8290	-4,9740	0,7630	0,9350	0,1720
Solo exposto	99,3280	89,9570	-9,3710	0,0480	0,0446	-0,0034
Total	**378,4430**	**378,4430**	**-**	**1,9586**	**1,9586**	**-**

Com base nos valores obtidos é possível apontar mudanças pontuais na cobertura do solo, que pode haver ocorrido devido ação humana e/ou natural, dado o longo período de intervalo (10 anos) com diferenças mínimas de área, os valores obtidos demostram relativa estagnação dos índices de vegetal encontrados na região de maneira a configurar relativo nível de conservação da parcela avaliada. No procedimento de cálculo por meio da classificação semi-automática supervisionada (método 2), fazendo uso das amostras levantadas, foram obtidos os seguintes resultados demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado quantitativo de área da metodologia de cálculo 2

CLASSE	ZONA DE AMORTECIMENTO			RPPN		
	2009	2019	Diferença	2009	2019	Diferença
	Área (km²)			Área (km²)		
Água	0,7930	0,4105	-0,3825	0,0010	0,0540	0,0530
Área úmida	6,7310	6,9025	0,1715	0,0245	0,0598	0,0353
Vegetação Densa	31,6460	51,4370	19,7910	1,3010	0,9480	-0,3530
Vegetação Rasteira	163,1030	194,1310	31,0280	0,4971	0,8276	0,3305
Solo exposto	176,1700	125,5620	-50,6080	0,1350	0,0692	-0,0658
Total	**378,4430**	**378,4430**	**-**	**1,9586**	**1,9586**	**-**

Na tabela apresentada acima, é demonstrada a recuperação parcial da região, resultado visível avaliando visualmente as imagens, onde classes como solo exposto deram lugar a feições de vegetação na Zona de Amortecimento da UC. Na RPPN também foi observado tal cenário, com alterações nas áreas de vegetação densa e solo exposto, com diminuição dos valores de solo exposto e aumento de classes como vegetação rasteira, área úmida e água. Houve também diminuição de aproximadamente 15% na classe de vegetação densa, que não apresentou grande impacto no montante de massa vegetal presente na área.

Mostra-se necessário ressaltar a diferença de área encontrada nos dois métodos de cálculo, quanto às classes de Solo exposto e Vegetação Densa. No método 2 (Classi-

ficação semi-automática supervisionada) foi apresentada acréscimo expressivo na classe solo exposto e diminuição acentuada da classe Vegetação Densa, ambas as classes não condizem com a resposta visual das imagens, em relação ao método de cálculo 1 (cálculo de pixels em formato raster), também avaliada visualmente. A metodologia 2, parte de duas interpretações para apresentar resultados, primeiramente da resposta do índice NDVI, e posteriormente na interpretação visual do observador, havendo assim dois processos de avaliação.

De forma acessória, a análise de NDWI serviu como complemento para a interpretação das amostras de NDVI de maneira a possibilitar uma avaliação do grau de interferência da umidade no resultante do índice de vegetação, considerando que tal fator está ligado diretamente na refletância da vegetação. Na Figura 6 é possível verificar índices mais elevados de umidade na imagem de 2009, indicando desta forma, índices mais baixos de umidade em relação a imagem de 2019.

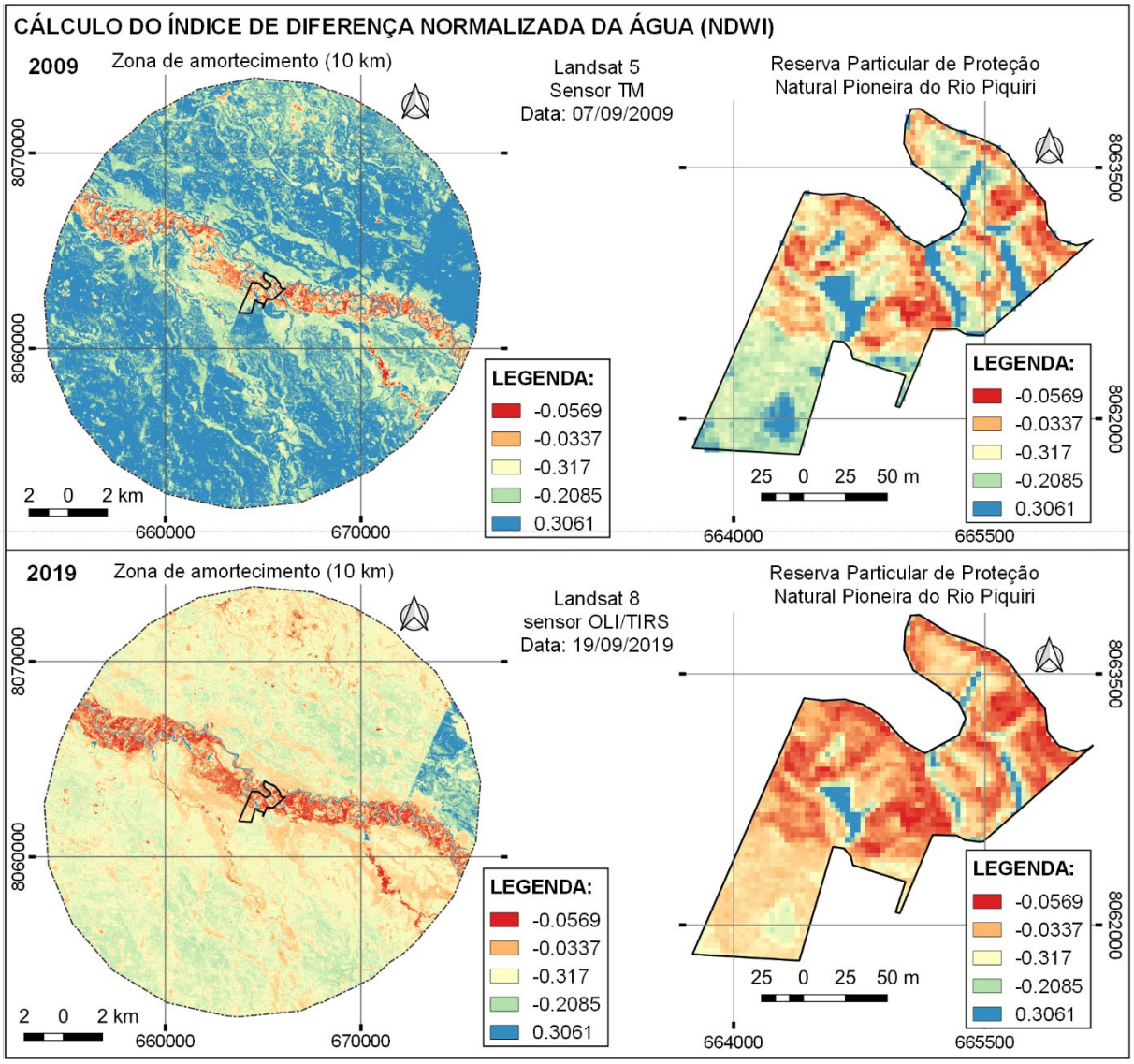


Figura 6. Representação cartográfica da resposta de cálculo de NDWI dos anos de 2009 e 2019

Os valores encontrados (Tabela 5) demostram a proximidade dos valores “mínimo” encontrados no cálculo do índice NDWI, porém, quanto aos valores positivos, a imagem do ano de 2009 apresenta valores mais expressivos. Apesar das imagens avaliadas representarem cenas do mesmo mês, com características climáticas semelhantes, houve diferença nos índices apresentados, indicando menor umidade na cena de 2019. Tal resultado influi sobre a resposta da massa vegetal ao Infravermelho próximo, impactando no resultado de cálculo do NDVI.

Tabela 5. Resultado do cálculo de NDWI

ANO	Zona de amortecimento		RPPN	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
2009	-0,0569	0,3061	-0,5596	0,1795
2019	-0,0801	0,0403	-0,0793	0,0474

Por fim, as Figura 7 e 8 apresentam os resultados discutidos logo acima, de maneira a apresentar a distribuição espacial dos resultados gerados dos métodos 1 e 2.

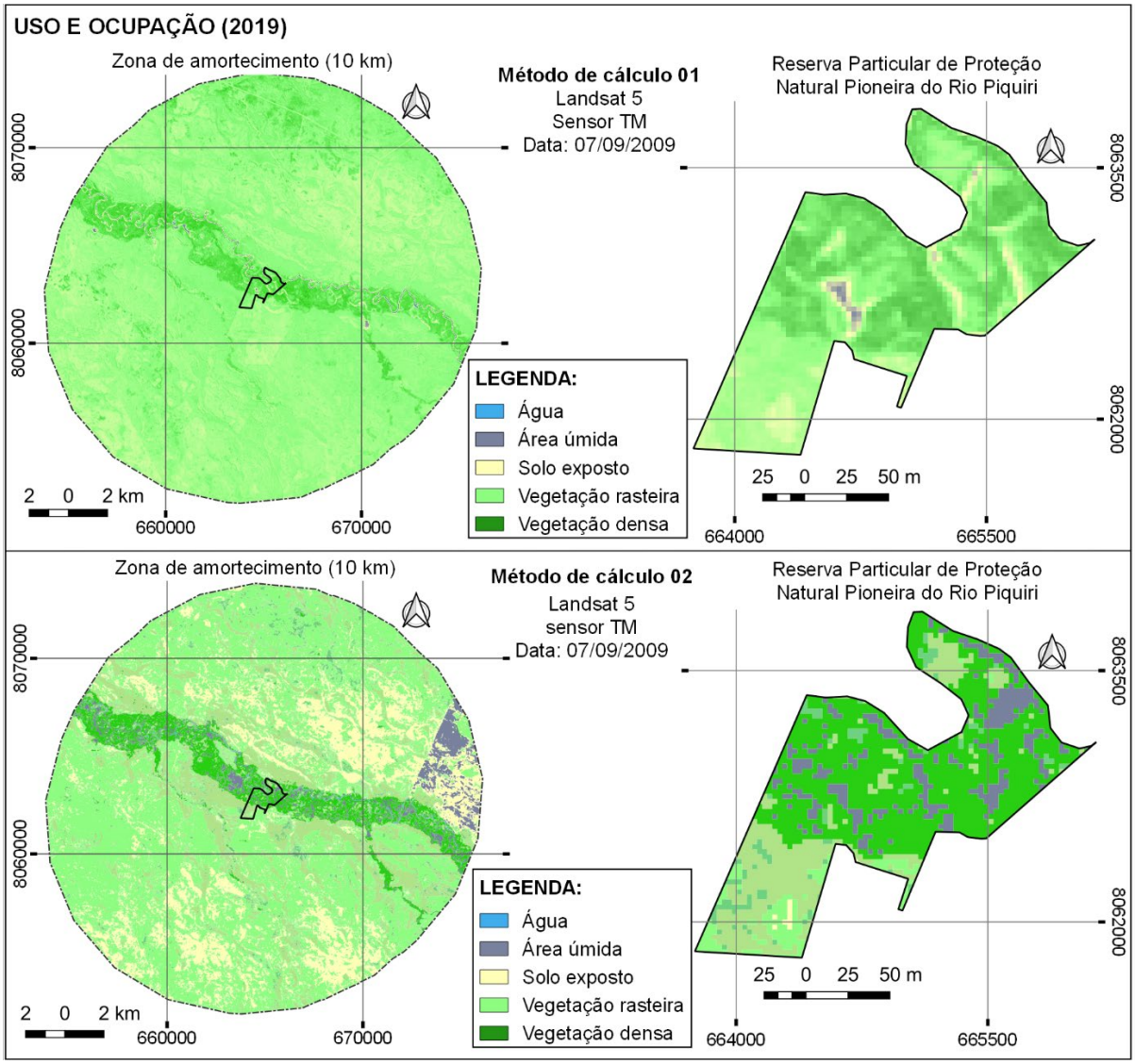


Figura 7. Representação cartográfica da resposta dos dois métodos de cálculo do ano de 2009

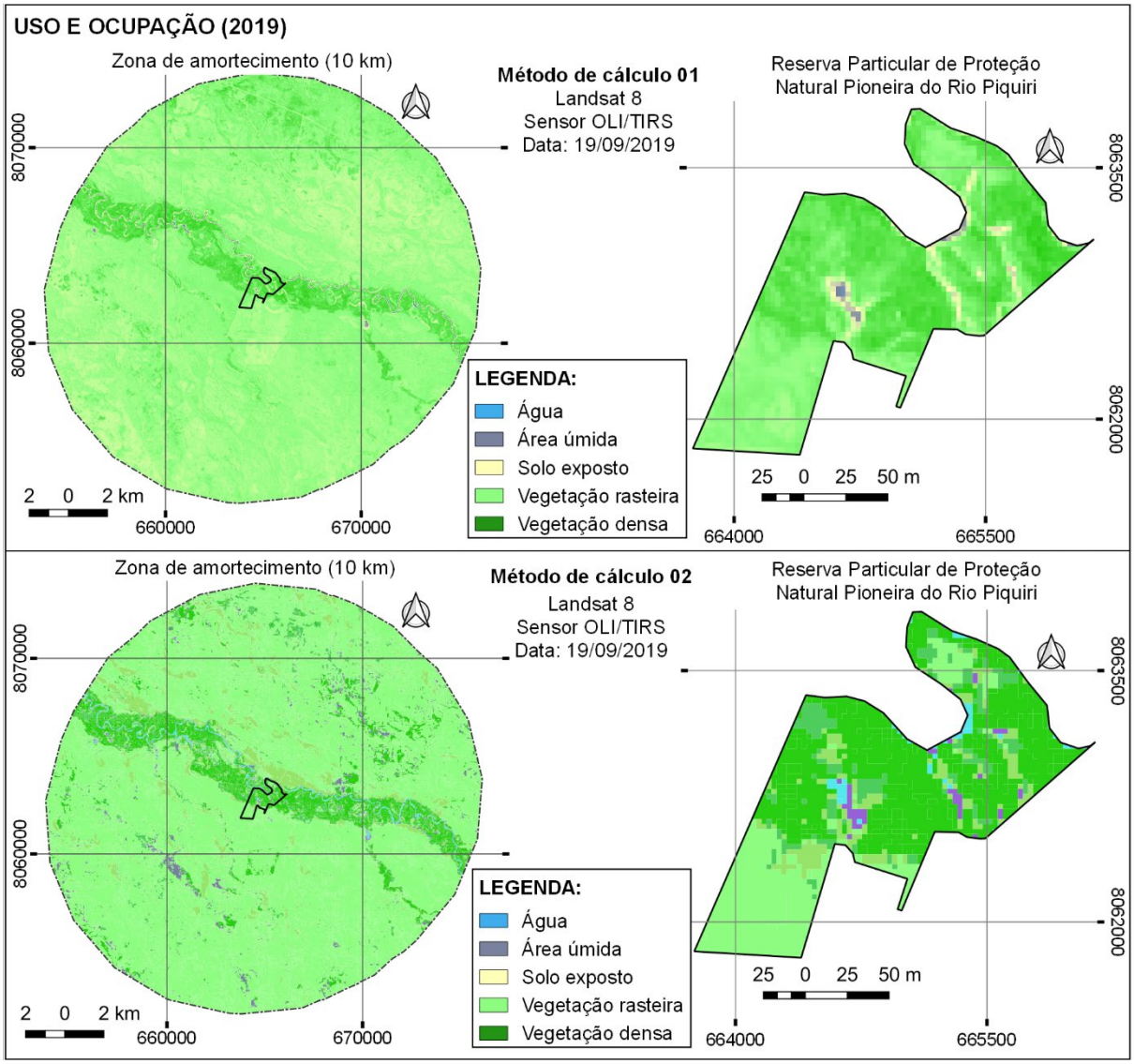


Figura 8. Representação cartográfica da resposta dos dois métodos de cálculo do ano de 2019

Realizando a comparação visual dos resultados de NDVI e NDWI e a composição SWIR-2, SWIR-1 e Green foi possível observar antropização mediante queimada (Figura 9). Característica não observada utilizando os índices, de maneira a apontar imprecisões quanto a características observadas. Figura 9. Composições da cena Landsat 5 utilizada na análise. Recorte da zona nordeste.

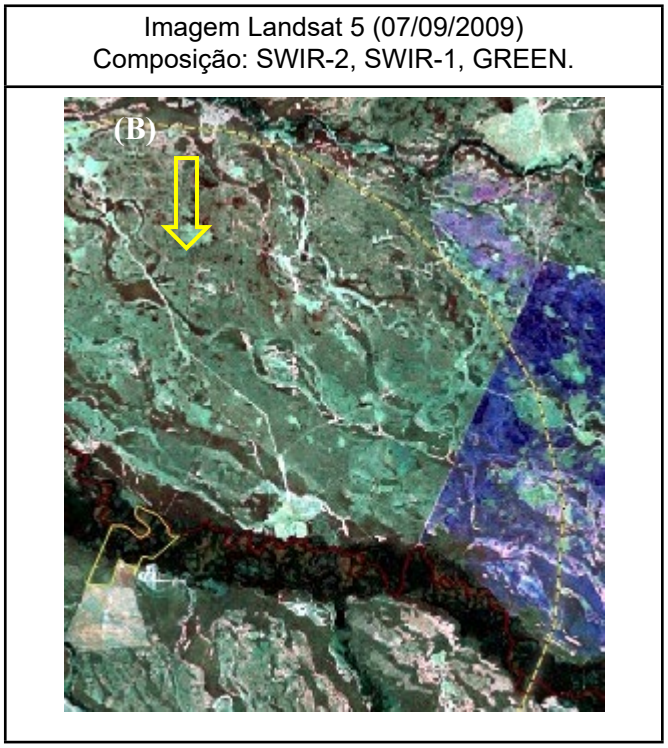


Figura 9. Parcela nordeste da Zona de Amortecimento utilizando de composição de imagem SWIR-2, SWIR-1, GREEN

Na Figura 9 fica aparente a falha na classificação da região em tonalidade azulada. Tal resposta espectral ocorre devido a banda 07 com o intervalo de onda variando entre 2.08 - 2.35 µm (Infravermelho-médio), refletir feições correlatas a queimadas, destacando assim o evento de forma singular.

DISCUSSÕES

É importante realizar o levantamento da porcentagem de área protegida das Unidades de Conservação, pois é uma medida rápida e conveniente de quão bem uma UC está conservada e protegida. A maioria das UCs, como por exemplo as RPPNs, cobrem grandes áreas com várias espécies e padrões de biodiversidade que raramente são estudadas e monitorados. Em consequência, a variação da cobertura vegetal dentro de uma UC pode influenciar nas estimativas de quão bem as espécies ou padrões de biodiversidade estão representados. As informações sobre os padrões de biodiversidade na RPPN aqui estudada não estão disponíveis nesse estudo, e caberia um futuro estudo nesse sentido. Embora o nível de congruência entre a diversidade ambiental e a biodiversidade seja um assunto de debate (ALLOUCHE et al., 2012), a primeira medida fornece uma aproximação para a última e nos permite inferir lacunas na distribuição da biodiversidade (PANITSA et al., 2011). Os resultados aqui expostos indicam diferenças claras em quão bem os padrões de vege-

tação estão sendo mantidos na UC, e representam uma gama de condições ambientais dentro da RPPN.

Uma combinação de mapas e de índices de vegetação mostrando a disponibilidade de terra e a pressão humana, pode fornecer uma visão geral ampla das áreas disponíveis cuja seleção para incorporação na rede de UC aumentaria sua representatividade, ao mesmo tempo em que minimizaria os potenciais conflitos de uso da terra e de direitos. Essas propostas poderiam, subsequentemente, ser comparadas a uma série de outros critérios, como o tamanho mínimo necessário para garantir a persistência a longo prazo das espécies ou comunidades alvo (OVASKAINEN, 2002; MARGULES; PRESSEY, 2000). Alguns passos futuros importantes para avançar esta abordagem são pesar os prós e os contras das várias técnicas e métodos para medir e expressar a representatividade ambiental das UCs, e avaliar até que ponto os padrões de vegetação e heterogeneidade ambiental são congruentes com os padrões de biodiversidade e em que escala (BROOKS et al., 2004; ALLOUCHE et al., 2012). A esse respeito, são promissores os avanços atuais em sensoriamento remoto para mapeamento de vegetação, espécies e biodiversidade (GILLESPIE et al., 2008).

Recursos significativos para a conservação vêm de mecanismos de financiamento globais, portanto é importante relacionar como as ações de conservação regionais e nacionais das Unidades de Conservação se enquadram nas prioridades globais. Isso é ilustrado pelos estudos de Burgess et al. (2006) que usaram a vulnerabilidade como um critério-chave para determinar que a ecorregião do mosaico floresta-savana da Bacia Victoria é uma prioridade global para a conservação. A distribuição desta ecorregião corresponde amplamente à da floresta tropical de transição do Lago Victoria e, portanto, apoia ações de conservação urgentes.

Neste estudo, enfocamos nas mudanças da massa vegetal de uma RPPN, o que ainda não nos dá informações completas a respeito de outros critérios importantes que precisam ser considerados, como por exemplo, os níveis de biodiversidade; os centros endêmicos de diversidade de plantas. São necessárias estimativas de como essas variáveis diferem entre e dentro das UCs. A maneira como os benefícios e custos das UCs é alocada é crucial (ADAMS; HUTTON, 2007), e os efeitos da remoção da vegetação das UCs devem ser compreendidos, uma vez que podem ser prejudiciais (SUTHERLAND et al., 2009). Independentemente disso, comparar cenários para diferentes subconjuntos de UCs é um elemento importante do processo de definição de prioridades de conservação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Reserva Particular de Proteção Natural Pioneira do Rio Piquiri representa uma das mais recentes RPPNs do Pantanal Sul-mato-grossense e, na avaliação proposta neste

trabalho, foi possível observar que os métodos propostos possibilitam a quantificação dos valores de uso do solo, havendo mudanças pontuais de massa vegetal presente na região entre os anos de 2009 e 2019. Em comparação entre os quantitativos de área, mostra-se importante salientar que no método de classificação semi-automática supervisionada (método de cálculo 2), apresentou dificuldade de identificação entre as classes “Vegetação rasteira”, “Vegetação densa” e “Solo exposto”, dificuldade assim a representação visual da distribuição das classes nos mapas temáticos 3 e 4.

Apesar da homogeneidade entre as classes encontradas na Zona de amortecimento, a proximidade entre as respostas espectrais pode ter influído diretamente nos resultados apresentados, impactando na quantificação de área de cada uma das classes, principalmente tratando-se da imagem Landsat do ano de 2009, com menor resolução espacial.

Logo, utilizando dos valores obtidos, o método de cálculo via calculado raster (pixel a pixel) mostrou-se mais adequado para este tipo de levantamento, apresentando resultados mais homogêneos e constantes, havendo pequena alteração nos valores de massa vegetal observados nos limites da Unidade de Conservação. Além disso, foi observado em sua zona de amortecimento determinada imprecisão quanto a características levantadas e o real cenário da porção nordeste da cena de 2009. Tal resultado demonstrou a existência de cicatrizes de queimada quando utilizado da composição SWIR-2, SWIR-1, GREEN que comparada com a imagem de 2019 mostrou-se perceptível a recuperação da área nordeste da Zona de Amortecimento da RPPN.

Tais resultados permitem afirmar que a Unidade de Conservação manteve suas características de uso do solo e sua respectiva Zona de amortecimento apresentou grande recuperação em sua porção nordeste, contribuindo com a premissa das legislações federais e estaduais de proteção da vegetação nativa.

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).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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.

Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao portal de periódicos.

Agradecem a CAPES pela bolsa de doutorado de Dhonatan Diego Pessi, número do processo: 88887.494036/2020-00.

REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J. Vegetação e Flora. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICO DO PANTANAL, 1. 1986, Corumbá, 1986. P.105-106, 1986.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, p. 711–728, 2013.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos-Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília TDA Desenho & Arte Ltda., 2005.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. 2014, vol.19, n.spe, pp.69-76. ISSN 1809-4457. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000305. Acesso em: 02 Dez. 2020.

CECCATO, P. et al. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. Remote Sensing of Environment. 82. 188-197, 2002.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 06 nov. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (Brasília, DF). Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP. Brasília, 1997. Programa Nacional do Meio Ambiente. Projeto Pantana.

BRASIL, Resolução CONAMA n°20, de 06 de dezembro de 1990. Normas referentes ao entorno das Unidades de Conservação visando a proteção dos ecossistemas ali existentes. 1986.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre mudança do clima. Mudança do clima 2007: Impactos, adaptação e vulnerabilidade. Disponível em: http:// www.mct.gov.br/index.php /content/view/ 50400. html. Acesso em: 15 out. 2020.

GAO, B. NDWI- a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, 257-266, 1996. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673. Acesso em: 20 out. 2020.

IBGE/DGC. Base Cartográfica Contínua do Brasil, Escala 1:250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 28 set. 2020.

IBGE. Mapa de Biomas e de Vegetação. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 05 out. 2020.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Diagnóstico dos aspectos socioambiental da proposta de criação do mosaico de unidades de conservação no pantanal norte. MMA, 2018.

IMASUL – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. Unidades de Conservação em MS. (2010) Disponível em: < https://www.imasul.ms.gov.br/setores/gerencias/unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 20 set. 2020.

KAMILA, A. & PAL, S.C. Urban growth monitoring and analysis of environmental impacts on Bankura-I and II Block using Landsat Data. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, 4(1): 965-975, 2015.

MASCARENHAS, L. M. de A. et al. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. Soc. nat. (Online) [online]. 2009, vol.21, n.1, pp.5-18. ISSN 1982-4513. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132009000100001>. Acesso em: 09 out. 2020.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Lei n. 3.839, de 28 de dezembro de 2009. Programa de Gestão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul (PGT/MS); aprova a Primeira Aproximação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul (ZEE/MS), e dá outras providências.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Diário oficial, Resolução n° 13 de 30 de Julho de 2013, SEMAC - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia, p.10.

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.

MIRANDA, E.E.; COUTINHO, A.C. (Coord.). Brasil Visto do Espaço. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. 2004. Disponível em: <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 26 set. 2020.

PONZONI, F. J. & SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Editora Parêntese. 2007. 127 p.

PRANCE, G. T., SCHALLER, G. B. Preliminary study of some vegetation types of the pantanal, Mato Grosso, Brazil. Brittonia 34, 228–251 (1982). Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2806383>. Acesso em: 08 de set. 2020.

OLI/TIRS/LANDSAT-8. Imagem de Satélite. Canal 5, 4, 3, e 2. Órbita 226 Ponto 072. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

TM/LANDSAT-5. Imagem de Satélite. Canal 5, 4, 3, e 2. Órbita 226 Ponto 072. 2009. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

QUANTUM GIS (QGIS). Development Team, QGIS Geographic Information System. 2019. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

MASCARENHAS, L. M. DE A.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento Remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do Rio Araguaia. Remote Sensing as a Law Enforcement and Environmental Protection Tool: Remnant Vegetation Analysis in the Araguaia River Basin. Sociedade & Natureza, v. 21, n. 1, Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sn/v21n1/v21n1a01.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

MMA. Painel Unidades de Conservação Brasileira. 2018 Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjUxMTU0NWMtODkyNC00NzNiLWJiNTQtNGI3NTI2NjliZDkzIiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBlNyJ9>. Acesso em: 24 out. 2020.

MIOTO, C.L.; PARANHOS FILHO, A.C.; ALBREZ, E.A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM. 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614. Acesso em: 08 jul. 2020.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapping the Dynamics of Land cover and Land Use in the watershed of São João River, RJ. Sociedade e Natureza, v. 25, n. 2, p. 411-426, 2013.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. Meteorologia e climatologia florestal. Curitiba, 2015, 215 p.

STEFFEN, C. A. Introdução ao sensoriamento remoto. Disponível em: <http ://www.in p e.br/unidades /cep/atividades cep/educaere/apostila.htm >. Acesso em: 16 set 2020.

USGS. United States Geological Survey. Earth Explorer. 2019. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

USGS. United States Geological Survey. Landsat Missions. 2014. Disponível em < http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites. php>. Acesso em: 03 ago. 2020.

CAPÍTULO 11

A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE RISCOS ECOLÓGICOS PARA AS ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DO PANTANAL

DOMINGOS SÁVIO BARBOSA
Biólogo, Doutor, Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, MT
domingosbar@gmail.com

DANILO SANDRO BARBOSA
Biólogo, Mestre, Instituto Federal de Mato Grasso do Sul, Corumbá, MS

CAMILA LEONARDO MIOTO
Engª Ambiental, Doutora, Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, MT

NORMANDES MATOS DA SILVA
Biólogo, Doutor, Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, MT

ABSTRACT: The Ecological Risk Assessment (ERA) is a crucial tool to support environmental management, as it systematizes a wide variety of information related to adverse environmental impacts. The text presents the concepts and basic framework for the structuring of ARE and exemplifies the possibilities, with the advantages and limitations of the methodology for the analysis of damages with anthropic origin in the Pantanal.

Keywords: ERA, environmental management, wetland

RESUMO: A avaliação de riscos ecológicos (ARE) é uma importante ferramenta para suporte a gestão ambiental, pois sistematiza uma ampla variedade de informações relacionadas aos impactos ambientais negativos. O texto apresenta os conceitos e referencial básico para a estruturação de ARE e exemplifica as possibilidades, com as vantagens e limitações da metodologia para a análise dos danos com origem antrópica no Pantanal.

Palavras-chave: ARE, gestão ambiental, áreas úmidas

INTRODUÇÃO

A Avaliação de Riscos Ecológicos, ARE, (em inglês, *Environmental Risk Assessment*, ERA) é por definição o processo completo de coleta, análise e apresentação das informações científicas relacionadas a probabilidade de um ecossistema sofrer distúrbios em função de fatores classificados como problemas ecológicos ou ambientais (SUTER II, 2016; YANG et al., 2020). Estes problemas podem estar relacionados às perdas de biodiversidade, invasões biológicas, contaminações de origem química, doenças e qualquer outro efeito que se julgue negativo ao ecossistema, independente da escala espaço-temporal de sua análise.

Segundo Suter (2016), a definição mais usada para o termo análise de risco é o suporte técnico para a tomada de decisões

baseadas em incertezas. Este tipo de análise teve início provavelmente em questões relativas ao comércio, jogos, guerras e qualquer outra atividade que ofereça riscos ou, uma delicada relação entre os perigos e exposição aos mesmos. Na vida, decisões precisam ser tomadas o tempo todo e raramente há certezas nestas escolhas.

Vertebrados em geral calculam suas ações com base em análise de risco instintiva. Ou seja, evitam a morte pelo instinto de sobrevivência. Desde a escolha de parceiros para acasalamento, a melhor rota para busca de alimento e fuga de predadores, sempre que um ser vivo hesita em tomar uma decisão, é devido aos milissegundos de análise de risco da situação.

Diversos estudos avaliam as relações de comportamento entre predadores e presas avaliando os fatores que influenciam a percepção de risco em animais (STANKOWICH & BLUMSTEIN, 2005; MOLLER & ERRITZOE, 2013). Portanto, a luta pela sobrevivência sobrepondo-se ao risco de perder a vida, seria então uma espécie de *praeceptum*, que é desdobrado em dezenas de teorias e conceitos, desde as bases dos estudos da biologia evolutiva das espécies até áreas que envolvem o comportamento humano nas neurociências, psicologia, dentre outras.

Desta forma, a análise de risco é intuitiva e transversal a diversas áreas do conhecimento. Assim, deve ser vista e entendida como natural extensão da preservação da vida, fazendo uso dos recursos científicos para a elaboração de instrumentos de gestão.

Um fato relevante na história do gerenciamento de riscos ecológicos foi a decisão das Nações Unidas (ONU) durante a Conferência Mundial do Meio Ambiente de 1992 (Eco-92 ou Rio-92) de criar um Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (em inglês, GHS), que permitiu um dos mais relevantes passos para o gerenciamento da manipulação de substâncias químicas perigosas em escala mundial, favorecendo a segurança do trabalho e a redução dos riscos à saúde humana (ONU, 2017).

O sistema GHS estabeleceu uma relação simples para a definição de riscos relacionadas a substâncias perigosas. A definição básica pode ser expressa na seguinte relação:

Onde,

x representa uma relação entre as variáveis.

Desta forma, o princípio do modelo pode ser desenvolvido gerando premissas, que são essenciais ao estabelecimento de critérios básicos na análise de riscos de substâncias perigosas (no caso do GHS o alvo é a saúde humana):

a) Se o perigo for nulo, não á risco pois não há o elemento de ameaça à vida;

b) Se a exposição for nula o risco ainda existe, porém em níveis muito baixos, visto que risco nulo só é possível sem perigos.

c) A modulação entre o perigo e exposição é que permite a redução dos riscos.

Por derivação de conceito, trazendo para o campo dos riscos ecológicos, nos conduz a concluir que a ARE opera em um território onde não existe a nulidade dos perigos ao ambiente e os bens ecológicos, e, portanto, trabalha com as incertezas das relações entre as causas (perigos) e consequências (danos ecológicos). Por consequência, haverá sempre a dúvida quanto a suficiência das estimativas de risco e das medidas de proteção ambiental associadas as mesmas, uma vez que o perigo nunca se anula.

Nas palavras de William Ruckelshaus, ex-diretor da Agência Ambiental Norte Americana (USEPA), a avaliação de risco ecológico é, em tradução livre, um casamento forçado entre a lei a ciência. O artigo homônimo de Davis (1985) onde esta frase é citada, descreve a conflituosa relação entre a ARE e as medidas regulatórias, sob o ponto de vista jurídico, visto a dificuldade de serem tomadas decisões baseadas em incertezas.

Um aspecto muito interessante da ARE são que as incertezas, as dúvidas e até mesmo o que se ignora, são objetos de resultados e componentes de análises (SUTER et al., 1987). Neste sentido, os estudos de Chen & Chen (2012) definem o conceito da incerteza indireta, que representa a variabilidade das informações existentes, porém incertas, em um determinado sistema como sendo elemento necessário para avaliar as probabilidades das complexas interações ecológicas.

O gerenciamento dos riscos ecológicos, derivado da ARE, não constitui em chancela para manutenção da exposição indefinida dos fatores de perigo ao ambiente. Justamente por considerar que existe a incerteza, a busca contínua pelo refinamento e por respostas é componente primordial da metodologia. A assunção de que uma decisão foi baseada em um cenário de incertezas, suscita a necessidade de maiores investigações, pois a questão do dano ambiental não é encerrada.

Um exemplo prático deste processo é a avaliação de risco ecológico para a liberação do uso e comercialização de pesticidas. A liberação para uso e sua posterior classificação de risco ecológico é baseada, dentre outros fatores, em estudos ecotoxicológicos e modelos matemáticos que permitem aferir o comportamento ambiental de uma dada substância em organismos não-alvo. Isto cria critérios mínimos para o gerenciamento do risco ainda que residam dúvidas sobre o comportamento ambiental em longo prazo ou em outros processos ambientais não observados. Com isto, os resultados da ARE permitem uma espécie de arrazoado entre a demanda social (necessidade de uso) e os riscos ambientais, contudo, sem descaracterizar o perigo que a substância representa e as limitações de conhecimento sobre seus efeitos. Desta forma, sempre que o risco de um dado agrotóxico é classificado como não tolerado, seu uso é banido.

Portanto, a ARE propõe-se a analisar cenários de incertezas, onde bens ecológicos estão expostos a diferentes níveis de perigos, e decisões precisam ser tomadas visando a preservação dos processos ecológicos com o menor risco calculado possível. A proposta apresentada no presente texto é um exercício com vistas a estimular os leitores a futuros

projetos e discussões, incorporando os conceitos e ferramentas da ARE em seus estudos científicos e trabalhos técnicos no Pantanal.

METODOLOGIA

Metodologias para o diagnóstico e análise de perigos ambientais

Diversas metodologias podem ser adotadas para subsidiar decisões envolvendo perigos ambientais como descrito na Tabela 1. A lista não esgota todas as possibilidades de avaliação ambiental, mas tem por objetivo situar a ARE frente as demais opções. Em linhas gerais, pode ser observado que algumas metodologias são legisladas no Brasil (por exemplo, a Avaliação de Impactos Ambientais) e em outros países, isto é, citados como instrumentos para uma determinada Política ou Regramentos específicos. Este aspecto é relevante, pois a prevalência de uso de uma metodologia sobre o outra estará associada ao demandante, seja este um órgão ambiental ou empresa.

Em um outro aspecto, é possível observar que os conceitos da ARE estão intrínsecos em algumas metodologias, mesmo que não haja menção da expressão riscos em sua discussão. É o caso dos princípios da Analogia e da Precaução, aplicados a um processo decisório sobre dada intervenção ambiental. O primeiro se refere ao uso subsidiário de resultados conhecidos acerca dos impactos gerados por uma atividade em outros sistemas ambientais. Já o segundo, se refere a tomada de decisões preventivas frente as incertezas sobre as reais consequências e reflexos que a atividade poderá gerar ao sistema ambiental, muitas vezes pela falta de subsídios científicos que avaliem satisfatoriamente seus impactos negativos (MILARÉ, 2014).

Neste contexto, a ARE pode contribuir, por exemplo, para gerar subsídios aos tomadores de decisão considerando o seguinte cenário:

a) Serão avaliados os impactos ambientais negativos;

b) Os perigos existem e não se anularão (mesmo que isto seja uma meta);

c) Independente da magnitude e abrangência, um impacto negativo é um perigo a ser considerado;

d) As certezas (p. ex. o que se sabe sobre os efeitos ambientais de uma substância) e as incertezas (p. ex. o que não se sabe dos efeitos) são calculados;

e) Os dados de monitoramento e outros estudos, sevem para reavaliar as certezas e incertezas.

Evidentemente, esta estruturação citada é apenas um exercício de como a ARE tem potencial para subsidiar a tomada de decisões, sem anular ou sobrepor nenhuma outra metodologia voltada para avaliação de danos ambientais. Detalhes das possibilidades de uso da ARE podem ser encontradas ainda em Suter II (2016), Balsan et al. (2019), Straalen & Lokke(1997), Lehikoinen (2014), Chen et al. (2013), Yuan et al. (2019), Ancione et al. (2020), Chen et al. (2012), Rico et al. (2016), Perrodin et al. (2011), Forbes & Galic (2016), Galic et al. (2012), (Hatch & Fristrup, 2009), Park et al. (2019) e Yang et al. (2020).

Tabela 1. Síntese das principais metodologias adotadas para subsidiar decisões envolvendo perigos ambientais

Metodologia	Objetivos	Principais Aplicações	Exemplos
Monitoramento Ambiental	Avaliação espaço temporal das condições ambientais	Geração de bases de dados e construção de indicadores e modelos.	Monitoramento da qualidade das águas superficiais e seus relatórios.
Padrões de Qualidade	Estabelecimento de limites de contaminação.	Controle de qualidade; Gerenciamento de riscos de exposição.	Padrões de qualidade das águas e dos solos. Limites de concentração de substâncias potencialmente perigosas nas águas.
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	Avaliação e análise dos impactos ambientais e à saúde humana com foco em um produto ou serviço.	Identificação de pontos de alto impacto na cadeia produtiva. Redução da pegada ecológica de produtos e serviços.	ACV da produção de um equipamento eletrônico pode revelar fontes de matérias-primas com alto impacto ambiental na extração.
Proibições e restrições	Restrições de uso de substâncias e processos.	Prevenção à poluição ambiental e danos a saúde humana.	Proibição da venda de agrotóxicos.
Equivalência ecológica ou analogia	Predizer o comportamento de uma substância ou ecossistema com base em dados de outro ambiente similar.	Estratégia de gerenciamento de riscos preditiva.	É presumível que um reservatório tropical que passe a receber efluentes sofra riscos de eutrofização.
Gerenciamento Ambiental Participativo	Buscar através da participação de diversos atores sociais e redução ou prevenção de danos.	Envolvimento social no processo decisório e mobilização de atores. Identificação de prioridades e metas de ações.	Audiências Públicas para aprovação da Instalação e Operação de um empreendimento.
Princípio da Precaução	Prevenção de danos ambientais ou seu agravamento.	Atividades com riscos ou impactos reconhecidos por analogia ou com danos progressivos em curso.	Embargos, proposições de medidas de prevenção, restrições, estabelecimento de condicionantes

Boas práticas e Normatização Técnica	Padronização de procedimentos para reduzir a diversidade de danos ambientais.	Padronização de técnicas, operações e procedimentos.	Normas Técnicas, Procedimentos Operacionais e Roteiros de órgãos ambientais.
Avaliação de Impacto Ambiental	Identificação dos impactos ambientais (positivos e negativos) de um determinado empreendimento.	Obtenção de Licenças para operação/exploração de uma atividade poluidora.	Estudos de impactos ambientais para a instalação de Usinas Hidrelétricas.
Diagnóstico Ambiental	Identificação do *status* ambiental de um sistema.	Análise rápida para avaliação de processos de degradação.	Diagnóstico da qualidade do ar em um município.

Fonte: Adaptado de Suter II (2019), com modificações

Avaliação de riscos ecológicos em áreas alagáveis e úmidas

Diversos estudos têm demonstrado a importância do desenvolvimento de estudos em ARE em áreas alagáveis, com análise nas relações de causa e efeito desde substâncias químicas em particular (p. ex. metais pesados e pesticidas) até processos antrópicos difusos, tais como urbanização e agricultura (XU et al., 2004; BAI et al., 2011; QU et al., 2011; KAYUMBA et al., 2021; LI et al., 2020; MAN et al., 2021; TALUKDER et al., 2021; WANG, 2021 e WEI et al., 2021).

O estudo realizado por Malekmohammadi & Blouchi (2014), na área alagável de Shadegan (Em Inglês, Shadegan Wetlands), localizado na província de Khuzestan (Irã), propôs uma metodologia semiquantitativa que combina avaliação de riscos ecológicos, Análise Hierárquica de Processos (AHP) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a realização de uma ARE com vistas a elaboração de um Zoneamento de Riscos Ecológicos. Este zoneamento é o principal produto que subsidiará as tomadas de decisões pelos gestores da bacia, uma vez que busca incorporar a relação entre usos e ocupações da bacia, principais impactos e metas dos bens ambientais a proteger.

A análise consiste em quatro passos principais que estão resumidos na Figura 1. Uma das etapas mais importantes nesta metodologia é a caracterização dos riscos, que considerou as dimensões da severidade, probabilidade e consequência dos danos aos bens a proteger. Para gerar estes resultados, os autores citam o uso da metodologia AHP, combinada com entrevistas, brainstorming, consultas à especialistas além de análise de dados em literatura. Este procedimento é importante, pois torna possível a análise das perspectivas de diversos atores sociais e incorporar metas de conservação na análise de danos.

Neste contexto, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) constitui uma ferramenta importante tanto para a análise discriminante dos impactos negativos (danos), quanto para a sua classificação escalar de severidade e magnitude, em dimensões espaciais e tempo-

rais. A metodologia de ARE é complementar a AIA, uma vez que a análise das incertezas propostas pela ARE geralmente não são detalhadas nos estudos de impacto ambiental. Um exemplo prático das fontes de incertezas podem ser os danos causados por um evento raro identificado na AIA. Se os analistas de risco ou as populações envolvidas, motivados por dados ou sua percepção, acreditarem que é necessário calcular os riscos deste episódio, a ARE possui ferramentas para este procedimento. No estado de São Paulo, por exemplo, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) exige no processo de AIA de determinados empreendimentos sujeitos a Licenciamento Ambiental os Estudos de Análise de Risco (EARs). Entretanto, a norma técnica P4.261 (CETESB, 2011) é específica aos riscos de acidente de origem tecnológica e não abrange todas as atividades que causam impactos ambientais negativos.

Um outro aspecto importante na metodologia proposta por Malekmohammadi & Blouchi (2014) é a espacialização dos dados usando SIG. A grande questão reside no tratamento da informação para uso nos softwares mais adotados para este propósito. Por exemplo, o zoneamento de riscos terá como resultado áreas (em polígonos, feições vetoriais por exemplo) e atributos bens a proteger ou danos sobre eles, podem estar sob a forma de pontos (uma única coordenada geográfica, por exemplo). A extrapolação espacial das informações precisa ser avaliada com cuidado e pode ser incluída na fase de caracterização dos riscos. A resolução espacial e temporal das informações precisa ser definida e explicada aos usuários da ARE, uma vez que nas aplicações em campo, por exemplo, a apresentação dos dados na resolução em hectares, metros quadrados, horas ou dias, por exemplo, poderá implicar em erros decisórios.

As estratégias para o gerenciamento dos riscos ecológicos, necessariamente, precisam ser tratadas em escala de bacias hidrográficas. Diferente da AIA, que por vezes delimita a área de influência direta dos impactos, caso o objeto de estudo seja um empreendimento, independentemente de seu porte, o risco será analisado, no mínimo, dentro do contexto da bacia hidrográfica. Este fator é importante, pois considera os efeitos sinérgicos e antagônicos das diversas fontes de estressores da bacia.

Tendo em vista que a ARE adotou uma modelagem espacial e ponderações quantitativas para gerar seus resultados, as estratégias de gerenciamento podem ainda ser simuladas em cenários com diferentes níveis de interferência, seja para prever sua eficácia ou incorporar no cenário estressores ainda inexistentes. Por exemplo, podem ser simulados o impacto da criação de uma nova unidade de conservação na bacia ou novos empreendimentos poluidores para discutir parâmetros de saturação de uso de áreas.

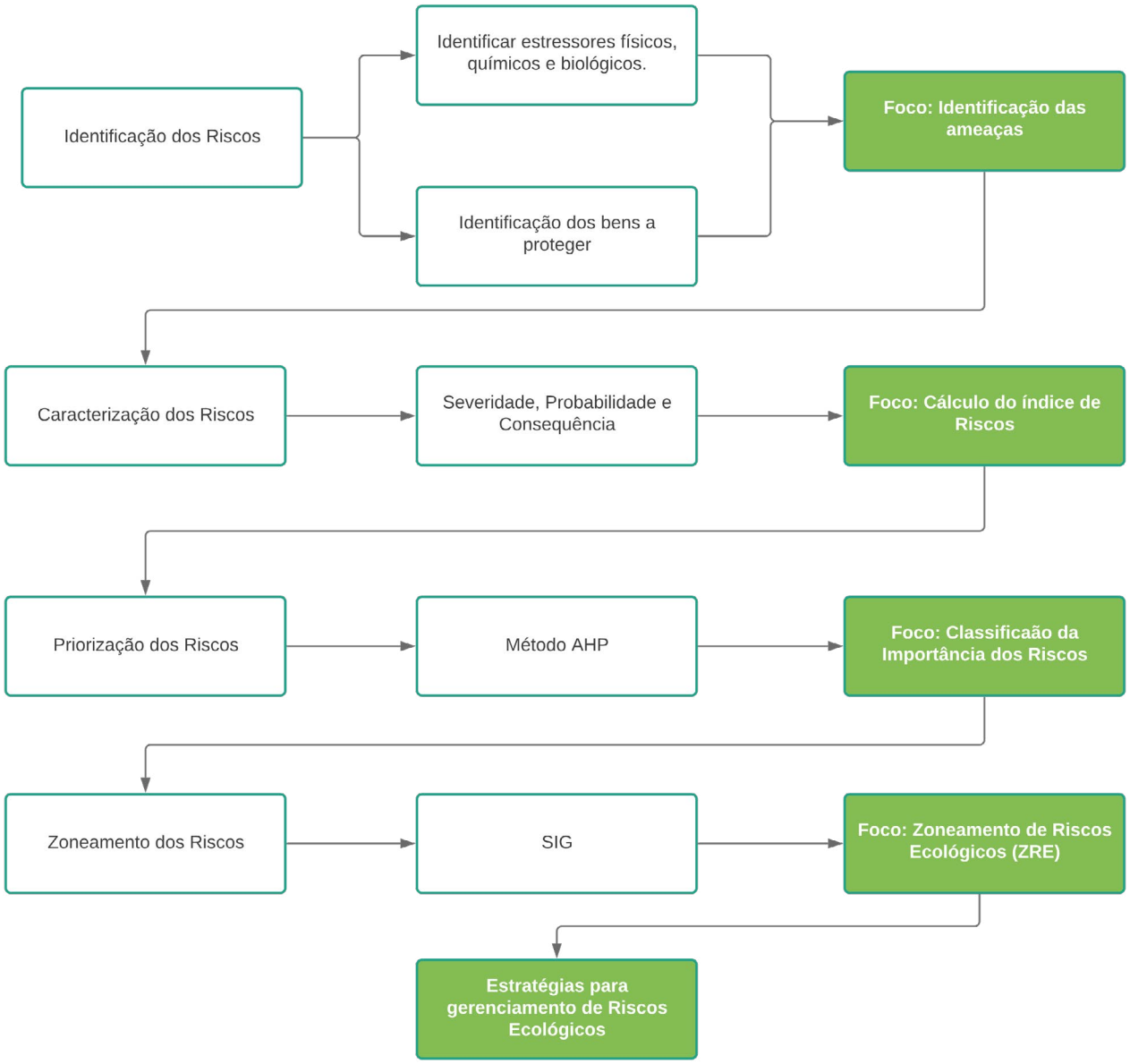


Figura 1. Estrutura metodológica para estudos de ARE em áreas alagáveis. Baseado em Malekmohammadi & Blouchi (2014), com modificações

Desta forma, a metodologia da ARE possui uma estrutura definida, requisitos próprios e objetivos claros, porém não é petrificada, permitindo o uso de diferentes ferramentas para atender os propósitos de seu uso. Existe ainda um aspecto importante na condição dos estudos que deve ser seguido desde a primeira etapa, que é a não generalização dos alvos a proteger. Em uma AIA, dependendo das circunstâncias, a análise do impacto sobre um elemento específico, por exemplo, a “Fauna”, dentro de uma matriz de impactos, com alguma descrição dos bens a proteger, pode ser suficiente para uma decisão quanto ao impacto em questão. No caso da ARE é necessário discriminar os elementos ecológicos (isto é, fauna, flora, solo etc.) e ainda os processos ambientais de interesse (autodepuração, lixiviação, secas, cheias) que tenham relação direta ou indireta com o dano avaliado.

Em um exemplo prático, uma ARE relacionada a aplicação de agrotóxicos em uma determinada região, contará com a avaliação da toxicidade, ecotoxicidade, mobilidade,

meia-vida dos princípios ativos (PA) em uso ou previstos e ainda, avaliará a vulnerabilidade dos locais de aplicação como descrito nos estudos de Balsan et al., (2019). Com base ainda nas EC50 dos organismos indicadores nos compartimentos-alvo frente aos PA em estudo, podem ser estimados os danos aos organismos aquáticos, edáficos, mamíferos e aves. Além disso, podem ser incorporadas na análise a taxa de crescimento anual da área plantada e as perspectivas para substituição de culturas frente as tendências do mercado global de commodities. Como estratégia de gerenciamento, podem-se estabelecer limites para aplicação de pesticidas em uma bacia ou ainda a recomendação da substituição por PAs de menor risco.

Tendo em vista a necessidade de avaliar os processos ecológicos como parte indissociável dos bens a proteger, verifica-se nos estudos citados a relação de processos ou funções de força ambiental característicos para as áreas alagáveis. Este processo é uma das chaves para a efetividade das medidas de gerenciamento, pois evita a massificação e generalização das informações, com o estabelecimento de diretrizes mais robustas e exequíveis.

Neste sentido, torna-se obrigatória a análise dos riscos aos processos ecológicos que definem a estrutura e função das áreas alagáveis enquanto Bioma, tais como: o pulso de inundação periódico, a existência das áreas alagáveis, os movimentos da fauna, a sucessão ecológica da flora e, os ciclos biogeoquímicos característicos. Como já discutido anteriormente, podem ser explorados uma série de outros processos ecológicos, espécies-alvo ou comunidades que tenham interesse estabelecer medidas de conservação e proteção.

Estratégias para avaliação de riscos ecológicos no Pantanal

Detalhes quanto a estruturação de ARE, suas diversas tipologias e aplicações, podem ser encontrados na obra de Suter II (2016). Na página da Agência de proteção Ambiental Note-Americana (USEPA), o sítio www.epa.gov/risk traz informações metodológicas detalhadas com diversos exemplos e relatos de casos, sobre diversas áreas de avaliação de risco (saúde e ecológica).

Considerando os conceitos explanados, constata-se que uma ARE completa e unificada para o Bioma Pantanal, considerando toda a complexidade de processos ecológicos e de impactos existentes, pode ser considerada como uma meta a ser alcançada, provavelmente, com o uso de métodos matemáticos e computacionais avançados e um banco de dados muito preciso. Em termos práticos, é necessário estabelecer um escopo para a ARE, definindo com clareza a sua abrangência geográfica, os processos e impactos a serem estudados e a ainda a resolução espacial das informações.

A delimitação espacial deve considerar que o Pantanal é formado por sub-regiões, delimitadas principalmente com base em suas características geomorfológicas, hidrológicas e florísticas (ADÁMOLI, 1982; SILVA & ABDON, 1998; PARANHOS FILHO et al., 2013;

MIOTO et al., 2012; MIOTO et al., 2019). Isto se traduz no que poderia ser um objetivo ou uma condicionante de uma ARE no Pantanal: a necessidade de manter ou considerar a fisionomia (ou ainda a identidade) da sub-região.

Neste contexto fisiográfico ou de identidade ecológica de uma sub-região, podem ser elencadas todas as características que são atribuídas a sua caracterização (relevo, tipologia de solos, qualidade das águas, espécies dominantes ou endêmicas, regime hídrico, dentre outros). Um exemplo pode ser ilustrado se considerarmos um escopo fictício de um cenário de risco para a região do Pantanal da Nhecolândia.

Utilizando como modelo a metodologia simplificada de Malekmohammadi & Blouchi (2014), suponhamos uma avaliação preliminar do risco ecológico da bovinocultura na região. O gado em sistema de criação representa o fator de risco, pois é uma espécie introduzida e criada para fins comerciais. Devido ao princípio na nulidade de perigo, desconsidera-se a não existência do gado nas análises. A Figura 2 apresenta a estrutura conceitual, dentro de um cenário de risco ecológico, para metodologia de ARE para a situação em questão, representando alguns processos ecológicos (Pn), receptores ecológicos (águas, solos e ar) e os perigos derivados dos processos conectados a exemplos das consequências (Cn). A Tabela 2 descreve os desdobramentos das relações entre causas e efeitos de um dos processos do cenário de risco, apresentando um esboço da análise semiquantitativa de incertezas. Na Tabela 3, estão descritos os danos e os critérios de decisão para gerenciamento de riscos ecológicos. Ressalta-se que este exemplo é ilustrativo e não contempla uma análise acurada dos riscos envolvidos.

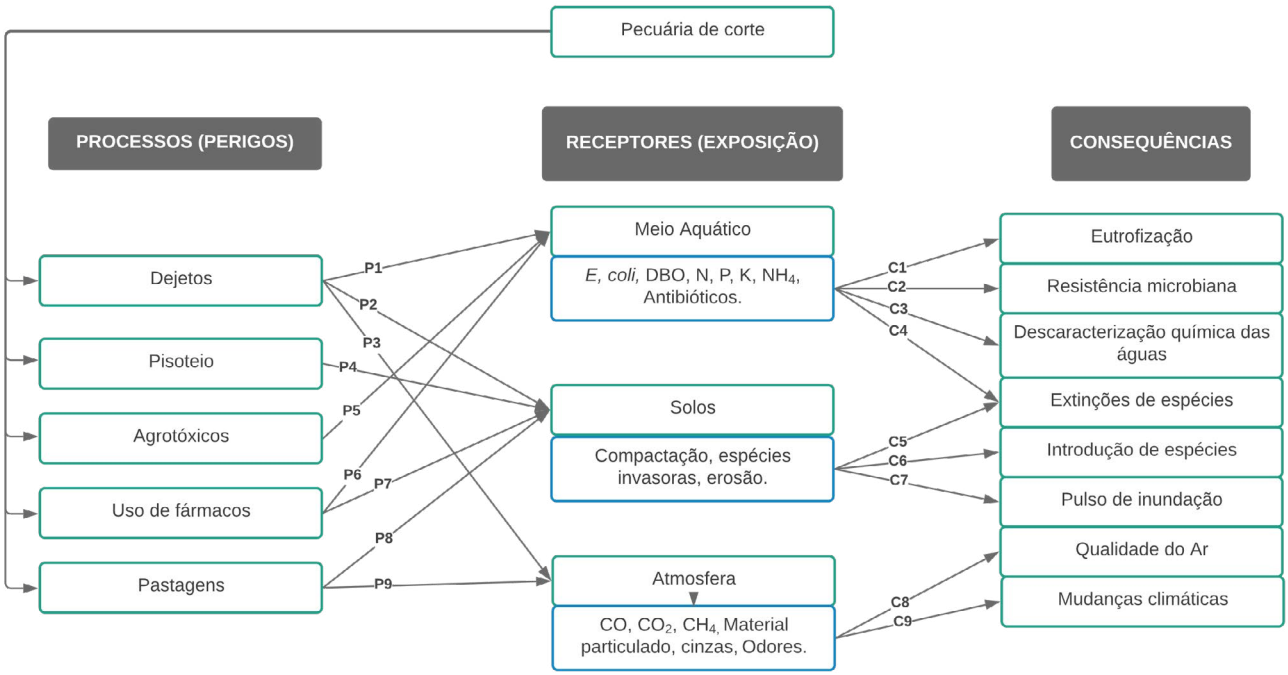


Figura 2. Estrutura para avaliação da relação entre causas e efeitos, baseando em alguns processos-chave relacionados a pecuária de corte. As letras" P" nas setas representam os Processos ecológicos que desencadeiam os perigos e "C" enumeram as consequências nos receptores

Tabela 2. Ponderação semiquantitativa das incertezas associadas as relações de causa e efeito de um processo selecionado no cenário de risco da Figura 2. Adaptado de Malekmohammadi & Blouchi (2014), com modificações

Processo	Receptores	Consequências	Probabilidade (Pr), Espectro (Es) e Severidade (Sv),	Exemplo de Classificação possível e scores de pontuação (entre parênteses).
P1: Dejetos animais afetando o meio aquático	Meio Aquático (salinas)	C1: Eutrofização	Pr: Há evidências que dejetos dos animais possam afetar o meio aquático (salinas)?	Pr: Certamente (10); Provável (5); Pouco provável (1).
			Es: Qual a abrangência espacial deste processo no Pantanal da Nhecolândia?	Es: Toda a área sub-região da Nhecolândia (10); Metade da sub-região (5); Menos da metade (1)
			Sv: Nível de eutrofização previsto ou observado, com base no índice de Estado Trófico (IET).	Sv: IET > 67 (10), 52 a 66 (5); Abaixo de 52 (1).
		C2: Resistência microbiana à antibióticos	Pr: Há evidências que os antibióticos utilizados induzam resistência microbiana?	Pr: Certamente (10); Provável (5); Pouco provável (1).
			Es: Qual a abrangência espacial deste processo no Pantanal da Nhecolândia?	Es: Toda a área sub-região da Nhecolândia (10); Metade da sub-região (5); Menos da metade (1)
			Sv: Diversidade de espécies microbianas com genes que expressam resistência.	Sv: Sempre presente (10); raramente presente (5);

Tabela 3. Relação entre consequências e danos ecológicos, com as alternativas para o gerenciamento dos riscos, com base um dos cenários da Tabela 2

Consequências	Danos previstos ou identificados	Análise decisória
C1: Eutrofização	Perda da biodiversidade de algas: mudanças na estrutura trófica das salinas. Alterações nos ciclos biogeoquímicos naturais por introdução de carbono orgânico e oxigênio dissolvido. Alterações na biodiversidade da comunidade zooplanctônica.	O risco é aceitável ou não aceitável? Se, Aceitável: qual o limite máximo para aceitação (limiar de risco). Não aceitável: restrição de uso de áreas? Rotatividade? Solução tecnológica?
C2: Resistência microbiana à antibióticos	Alterações na biodiversidade microbiana. Presença de antibióticos nas águas. Surgimento de “superbactérias”.	Os danos serão: consolidados, evitados ou reparados?

Em uma primeira vista, a estrutura da ARE muito se assemelha a uma avaliação de impactos ambientais. De fato, este exemplo foi selecionado para ilustrar o caso em questão, pelo fato de a AIA ser muito difundida no Brasil. A diferença entre as metodologias torna-se mais evidente quando observada a saída dos resultados da ARE, em uma análise decisória com base nos danos ecológicos previstos ou identificados. Estes danos, no caso da eutrofização das lagoas salinas e resistência à antibióticos, foram estabelecidos mediante uma construção de elementos probatórios, argumentos e evidências, o que distinguem a avaliação de riscos de um processo meramente especulativo.

O processo descrito como P1 (Figura 2) ocorre mediante a processo de transporte de massa, das fezes do gado para os corpos de água superficiais. Este processo, na ARE, necessita ser descrito e caso necessário quantificado, elaborando um modelo conceitual de sua ocorrência e fatores que agravam ou retardam os mecanismos. No caso, um dos fatores a serem considerados na ocorrência do P1 é a distância entre os animais e os corpos de água. Esta variável, por exemplo, necessitaria ser caracterizada em campo ou estimada através de dados do número de cabeças por hectare e número de salinas na região.

Quando observadas as consequências na Tabela 2 e Tabela 3, a primeira questão é avaliar a probabilidade da ocorrência desta consequência na área em estudo. Com base no modelo conceitual ou cenário elaborado para descrever o processo, são diagnosticadas ou estimadas as probabilidades de ocorrência das consequências, avaliando ainda o espectro espaço-temporal e severidade. Diversas ferramentas podem ser utilizadas para esta análise, desde a compilação de dados que descrevam a relação entre presença de gado e eutrofização ou da qualidade física e química dos corpos de água. Para a estimativa dos danos podem ser utilizados como referência estudos que tenham estabelecido um paralelo entre a eutrofização e a estrutura das comunidades fito e zooplanctônica.

Em uma segunda linha de ação podem ser necessários estudos para responder questões específicas associadas a relação processo, consequência e danos em tela. Por

exemplo, pode ser necessário um ensaio laboratorial para determinar a relação entre a massa em gramas de fezes de gado e a alteração da qualidade das águas das salinas da Nhecolândia. Ou ainda, estudos em microcosmos e mesocosmos (por exemplo, enclousers) para avaliar as alterações entre a comunidade fitoplanctônica e a proposição de dejetos animais ou de enxurradas (runoff) da flora nativa das salinas.

Não há um limite para os estudos que precisam ser conduzidos, sejam eles em campo, laboratório, simulações computacionais ou compilação de dados. A suficiência para subsidiar a tomada de decisões é o parâmetro para os dados mínimos. Este aspecto chama a tenção para a necessidade de estudos classificados por básicos e de testes com variáveis de baixa complexidade, mas que quando incorporadas em um cenário de risco mais complexo ganham substancial importância. No contexto da ARE nenhuma informação é irrelevante ou óbvia demais e sim, ausência de dados o grande entrave. Desta forma, é oportuno recomendar que os pesquisadores citem em seus estudos a importância de suas constatações para a compreensão dos cenários de riscos ecológicos em particular ou generalizado.

Finalmente, como base na avaliação aclarada dos danos, as decisões quanto ao risco podem ser tomadas. O primeiro resultado da ARE é a caracterização do risco em si, pois o pior cenário seria o risco não identificado. Em segundo lugar há a necessidade de decidir se o risco é aceitável ou não. Este procedimento decisório é complexo e poderá ser repleto de controvérsias entre as partes interessadas. A questão da aceitação do risco ou não é a condicionante das medidas de gerenciamento. Independentemente de sua aceitação o risco deverá ser gerenciado, visto que para que não haja necessidade de gerenciamento seria necessário não haver mais perigos.

As decisões de gerenciamento são balizadas pela legislação aplicada, e podem ter diretrizes como: a não propagação dos danos, medidas cautelares para evitar novos danos, medidas reparatórias, planos de contingenciamento, planos de gerenciamento, planos de manejo com vistas redução dos riscos e outros instrumentos. Neste aspecto, metas claras precisam ser definidas, indicando como as medidas propostas impactarão os indicadores de risco calculados.

No campo das discussões que envolvem múltiplos pontos de vista, o uso de ferramentas como a Análise Hieráquica de Processos para estabelecer as prioridades de ações ou em qualquer outra etapa da execução da ARE constitui em ferramenta promissora. Análise hierárquicas permitem classificar de forma mais técnica as prioridades das ações frente aos riscos, especialmente em questões que envolvem múltiplas escalas.

Conforme pode ser observado na Figura2, as consequências relacionadas a poluição do ar sejam pelas queimadas ou emissão de metano animal (C8 e C9), são riscos ecológicos que possuem escalas de magnitude completamente diferentes em termos de processos ambientais, mas, que podem convergir para a mesma urgência de medidas. Se por um lado as queimadas afetam a qualidade do ar em escala local e regional, também

impactam as metas de emissão de gases de efeito estufa que podem comprometer acordos de exportação de produtos agrários e reduzir o faturamento das empresas.

A ARE neste caso, pode auxiliar a criar cenários e estabelecer metas mais precisas de emissões, buscando um (pseudo) equilíbrio entre os danos ambientais multiescalares das queimadas e outras emissões de gases e as metas de produção, com a definição de um limiar para os riscos identificados.

Sánchez (2020) aborda um aspecto importante na AIA levantado especialmente nas etapas de consulta pública com os atores sociais envolvidos no processo decisório, que é a Percepção de Riscos. Fischer (1991) indica a inclusão da dimensão social no contexto da avaliação de risco, uma vez que, a percepção de risco dos stakeholders pode ser distinto daquele demonstrado estatisticamente. Em outras palavras, o risco pode ser aceitável do ponto de vista estatístico, mas não do social. Neste caso, a percepção do risco é influenciada e ajustada por diversos fatores como as experiências pessoais, crenças,

Desta forma, Kasperson (1988) afirma ser necessária uma avaliação de risco abrangente e capaz de integrar os aspectos culturais, sociais e individuais que derivam a percepção de risco da população. Neste sentido, o estabelecimento de cenários de risco e tomadas de decisão com base em dados oriundos da análise de risco, é desejável a consideração desta dimensão social relacionadas às diversas populações tradicionais que ocupam historicamente a planície pantaneira e que, possuem seu modo de vida intimamente integrado aos processos ecológicos que ocorrem neste bioma.

O paradoxo da sustentabilidade

Não se pretende traçar aqui uma discussão conceitual apurada sobre o tema da sustentabilidade, mas apenas lançar ao leitor uma pequena provocação. A ARE pode ser uma importante ferramenta para a busca da sustentabilidade ambiental. Contudo, seu resultado nem sempre indicará um cenário sustentável. Isto porque um risco ambiental classificado como inaceitável ou intolerável não poder ser entendido como algo sustentável, pois viola os princípios da conservação da vida.

Desta forma, se mapeados os riscos ecológicos de uma dada região, serão identificadas Áreas Protegidas onde em tese, não constituem em fontes de perigos, mas são passíveis de sofrer danos pelos riscos que as cercam, áreas onde os riscos são toleráveis ou ainda mínimos que traduzem em alto potencial de uso sustentável e ainda, os locais onde os riscos são altos e intoleráveis.

Com isto emerge o paradoxo: alcançaremos, então, o uso sustentável do Pantanal admitindo que existem usos e processos insustentáveis? Existem zonas de alto risco sem perspectivas de melhora em longo prazo? Estas questões ressoam estridentemente para alguns, sejam estrategistas em conservação ou usuários dos recursos naturais, pois assumir usos insustentáveis pode levar a crer (erroneamente) em uma chancela para os danos

ambientais e uma pecha negativa e desestimulante aos empreendedores. Esta seria uma das explicações para a não popularização da ARE no Brasil ao contrário de outros países, como demonstrado nas referências. O receio em assumir o problema, se sobrepõe à necessidade de destacá-lo, porém, a situação de risco ainda existe.

Uma possível solução para o que pode vir a se tornar um dilema, é considerar a máxima da área de avaliação de riscos em geral, onde o pior risco é o não identificado. Identificar, calcular, entender e aceitar de forma franca os problemas relacionados aos usos do Pantanal são um passo crucial para o que seria a busca pela sustentabilidade que é profundamente determinada pelas características do ecossistema explorado, pela forma de exploração, bem como pelas escalas espacial e temporal de análise. Aceitar que a insustentabilidade existe, é tão importante quanto desejá-la. A identificação de locais de alto risco, tem por objetivo mapear zonas que merecem atenção prioritária e que podem, por exemplo, não serem mais alvo de instalação de novos empreendimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Avaliação de Riscos Ecológicos constitui em poderosa ferramenta para a gestão ambiental, por permitir de forma mais assertiva o estabelecimento das medidas de gestão frente as relações de causa e efeito e pode contribuir muito para as estratégias de conservação do Pantanal. A ARE permite o uso de ferramentas científicas e formais para associar os dados, incertezas, conceitos e discussões acerca de um problema de poluição ambiental, exigindo, no mínimo o reconhecimento da existência dos riscos envolvidos no processo. Em comparação com a avaliação de impactos ambientais (AIA), apresenta-se como uma ferramenta integradora com uma perspectiva mais operacional e, que permite o estabelecimento de limiares de riscos, metas e prioridades de ação considerando as incertezas dos processos.

A condução de estudos de ARE no Pantanal deve considerar as características fisiográficas da(s) sub-região(ões) em estudo, incluindo os impactos na manutenção do pulso de inundação. Dependendo da escala, a organização das informações no espaço deve considerar tanto os aspectos endógenos da sub-região em particular, quanto seus efeitos de entorno.

A classificação dos riscos ecológicos, deve favorecer a discussão quanto ao estabelecimento de metas de gerenciamento visando a redução de riscos e danos, como também a identificação de áreas críticas, com elevado grau de risco das quais podem ser entendidas como locais de atenção e não prioritários para novos empreendimentos, por exemplo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental (PGTA), da Fundação Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

Agradecem também à Fundação Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

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

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os Cerrados. Discussão sobre o conceito de “Complexo do Pantanal”. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BOTÂNICA, 32., 1982, Teresina. Anais [...] Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, p. 109-119.

ANCIONE, G.; BRAGATTO, P.; MILAZZO, M. F. A Bayesian network-based approach for the assessment and management of ageing in major hazard establishments. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 64, p. 104080, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104080. Acesso em: abr. 2021.

BAI, J.; CUI, B.; CHEN, B.; ZHANG, K.; DENG, W.; GAO, H.; XIAO, R. Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from a Typical Plateau Lake Wetland, China. Ecological Modelling, v. 222, n. 2, p. 301–306, 2011.

BALSAN, L.; GUIRRA, A. P. M.; BARBOSA, D. S.; DA SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Espacialização do Risco Intrínseco à Contaminação por Pesticidas em Corpos Hídricos e Determinação de Pontos de Monitoramento. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, p. 496–513, 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. P4.261 - Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência. São Paulo, 2º ed, 2011. 140p. Disponível em. https://cetesb.sp .gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4261-revisada.pdf Acesso em: 10 abr. 2021.

CHEN, Q.; LIU, J.; HO, K. C.; YANG, Z. Development of a relative risk model for evaluating ecological risk of water environment in the Haihe River Basin estuary area. Science of the Total Environment, v. 420, p. 79–89, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.044. Acesso em: abr. 2021.

CHEN, S.; CHEN, B.; FATH, B. D. Ecological risk assessment on the system scale: A review of state-of-the-art models and future perspectives. Ecological Modelling, v. 250, n. 19, p 25–33, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.015. Acesso em: abr. 2021.

CHEN, S. Q.; CHEN, B. Defining indirect uncertainty in system-based risk management. Ecological Informatics, v. 10, p. 10–16, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.05.005. Acesso em: abr. 2021.

DAVIS, D. L. The Shotgun wedding of science and law: risk assessment and judicial review. Columbia Journal of Environmental Law, v. 10, n. 92, p. 67–109, 1985.

FISCHER, F. Risk assessment and environmental crisis: toward an integration of science and participation. Industrial Crisis Quarterly, v. 5, n. 2, p. 113-132, 1991.

FORBES, V. E.; GALIC, N. Next-generation ecological risk assessment: Predicting risk from molecular initiation to ecosystem service delivery. Environment International, v. 91, p. 215–219, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.002. Acesso em: abr. 2021.

GALIC, N.; SCHMOLKE, A.; FORBES, V.; BAVECO, H.; VAN DEN BRINK, P. J. The role of ecological models in linking ecological risk assessment to ecosystem services in agroecosystems. Science of the Total Environment, v. 415, p. 93–100, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.065. Acesso em: abr. 2021.

HATCH, L. T.; FRISTRUP, K. M. No barrier at the boundaries: Implementing regional frameworks for noise management in protected natural areas. Marine Ecology Progress Series, v. 395, p. 223–244, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.3354/meps07945. Acesso em: abr. 2021.

KASPERSON, R. E.; RENN, O.; SLOVIC, P.; BROWN, H. S.; EMEL, J.; GOBLE, R.; KASPERSON, J. X.; RATICK, S. The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. Risk Analysis, v. 8, n. 2, p. 177-187, 1988

KAYUMBA, P. M.; CHEN, Y.; MIND'JE, R.; MINDJE, M.; LI, X.; MANIRAHO, A. P.; UMUGWANEZA, A.; UWAMAHORO, S. Geospatial Land Surface-Based Thermal Scenarios for Wetland Ecological Risk Assessment and Its Landscape Dynamics Simulation in Bayanbulak Wetland, Northwestern China. Landscape Ecology, p. 1–25, 2021.

LEHIKOINEN, A. Bayesian Network applications for environmental risk assessment. Doctoral Dissertation - Faculty of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki, 2014.

LI, Z; WEIGUO, J.; WANG, W.; CHEN, Z.; LING, Z.; LV, J. Ecological Risk Assessment of the Wetlands in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. Ecological Indicators, 117, p. 106677, 2020.

MAN, Y. B.; CHOW, K. L.; ZHANG, F.; LEI, K. M.; LEUNG, A. O. W.; MO, W. Y.; WONG, M. H. Protecting Water Birds of Wetlands: Using Toxicological Tests and Ecological Risk Assessment, Based on Metal/loid (s) of Water, Sediment and Biota Samples. The Science of the Total Environment, v. 778, p. 146317, 2021.

MILARÉ, É. Direito do ambiente. 9. ed. São Paulo : Revista dos Tribunais, 2014.

MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. Revista Entre-Lugar, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

MIOTO, C. L.; AMORIM, G.; MACHADO, R.; DALMAS, F. B.; OLIVEIRA, A. P. G.; SAAD, A. R.; DIODATO, M. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Neotectonics as a structural control of the boundaries of the Pantanal Matogrossense Sub-Regions. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 91, n. 1, e20170697, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170697. Acesso em: abr. 2021.

MALEKMOHAMMADI, B.; BLOUCHI, L. R. Ecological risk assessment of wetland ecosystems using Multi Criteria Decision Making and Geographic Information System. Ecological Indicators, v. 41, p. 133–144, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.01.038. Acesso em: abr. 2021.

MØLLER, A., ERRITZØE, J. Predation against birds with low immunocompetence. Oecologia 122, 500–504 (2000). https://doi.org/10.1007/s004420050972

ONU (2017).（Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals; GHS. In Vol. 10, Issue 2. https://doi.org/10.14927/reeps.10.2_60

PARANHOS FILHO, A. C.; NUMMER, A. R.; ALBREZ, E. DO A.; RIBEIRO, A. A.; MACHADO, R. 2013. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 85, n. 3, p. 913-922, 2013.

PARK, J.; LEE, S.; LEE, E.; NOH, H.; SEO, Y.; LIM, H. H.; SHIN, H. S.; LEE, I.; JUNG, H.; NA, T.; KIM, S. D. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals using the sensitivity of resident organisms in four Korean rivers. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 183, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109483. Acesso em: abr. 2021.

PERRODIN, Y.; BOILLOT, C.; ANGERVILLE, R.; DONGUY, G.; EMMANUEL, E. Ecological risk assessment of urban and industrial systems: A review. Science of the Total Environment, v. 409, n. 24, p. 5162–5176, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.053. Acesso em: abr. 2021.

QU, C. S.; CHEN, W.; BI, J.; HUANG, L.; LI, F. Y. Ecological Risk Assessment of Pesticide Residues in Taihu Lake Wetland, China. Ecological Modelling, v. 222, n. 2, p. 287–92, 2011.

RICO, A.; VAN DEN BRINK, P. J.; GYLSTRA, R.; FOCKS, A.; BROCK, T. C. Developing ecological scenarios for the prospective aquatic risk assessment of pesticides. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 12, n. 3, p. 510–521, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ieam.1718. Acesso em: abr. 2021.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, n. 3, p. 1703-1711, 1998.

STANKOWICH, T.; BLUMSTEIN, D. T. Fear in animals: A meta-analysis and review of risk assessment. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 272, n. 1581, p. 2627–2634, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3251. Acesso em: abr. 2021.

SUTER, G. W.; BARNTHOUSE, L. W.; O'NEILL, R. V. Treatment of risk in environmental impact assessment. Environmental Management, v. 11, n. 3, p. 295–303, 1987. Disponível em: https://doi.org/10.1007/BF01867157. Acesso em: abr. 2021.

SUTER II, G. W. Environmental Risk Assessment. 2 ed. CRC Press, 2016. 680 p.

TALUKDER, R.; RABBI, M. H.; BAHARIM, N. B.; CARNICELLI, S. Source Identification and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Sediments of Setiu Wetland, Malaysia. Environmental Forensics, p. 1–14, 2021.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 3º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 584p.

STRAALEN, N.M. & LOKKE, H. (1997). Ecological Risk Assessment of Contaminants in Soil. In Ecological Risk Assessment of Contaminants in Soil, 1997, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6361-7

WANG, H. Regional Ecological Risk Assessment of Multi-Ecosystems under the Disturbance of Regional Pole-Axis System: A Case Study of the Tongjiang--Fuyuan Region, China. Environmental Monitoring and Assessment, v. 193, n. 4, p. 1–18, 2021.

WEI, L. I.; DUO, B. U.; JING, S. U. N.; ZAIYI, S. H. A. N.; XUEBIN, L. V.; JIAN, X. I. O. N. G. Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Elements in the Surface Sediments of Bagaxue Wetlands in Lhasa. Environmental Chemistry, v. 1, p. 195–203, 2021.

XU, X.; LIN, H.; FU, Z. Probe into the Method of Regional Ecological Risk Assessment—a Case Study of Wetland in the Yellow River Delta in China. Journal of Environmental Management, v. 70, n. 3, p. 253–62, 2004.

YANG, T.; ZHANG, Q.; WAN, X.; LI, X.; WANG, Y.; WANG, W. Comprehensive ecological risk assessment for semi-arid basin based on conceptual model of risk response and improved TOPSIS model-a case study of Wei River Basin, China. Science of the Total Environment, v. 719, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137502. Acesso em: abr. 2021.

YUAN, X.; LI, C.; CHEN, Q.; PENG, H.; GUO, Y.; WU, Y. Index System Research on Environmental Impact Assessment of Ecological Project in Xishui River. MATEC Web of Conferences, v. 267, p. 04018, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1051/matecconf/201926704018. Acesso em: abr. 2021.



UNIEDUSUL
EDITORA