

Avaliação ambiental de fragmentos florestais de Cerrado por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação

Environmental assessment of Cerrado Forest fragments using landscape metrics and vegetation index

Evaluación ambiental de fragmentos de bosque del Cerrado utilizando métricas de paisaje e índice de vegetación

José Carlos de Souza  

Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis (GO), Brasil

jose.souza@ueg.br

Nelton Nattan Amaral Nunes  

Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis (GO), Brasil

neltonnattan@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste artigo foi avaliar as condições ambientais dos fragmentos florestais de Cerrado, da bacia hidrográfica do rio das Pedras, em Itaberaí (Goiás), por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação. Os fragmentos foram mapeados e classificados por tamanho e foram aplicados os índices de efeito de borda, de exposição antrópica e o de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A bacia possui área de 36900 hectares onde foram mapeados 296 fragmentos, que totalizaram 4.421,02 ha. Os resultados indicaram que 75,68% dos fragmentos apresentaram alto índice de efeito de borda, totalizando 224 fragmentos. Em relação ao índice de exposição antrópica, o predomínio também foi para a classe alta, com 237 fragmentos. Os valores de NDVI variaram de 0,2 a 0,92, com média de 0,75, indicando boas condições de vigor vegetativo e produção fotossinteticamente ativa, mas, com condições melhores, para os maiores fragmentos e para a região nuclear destes.

Palavras-chave: Fragmentação de paisagens. NDVI. Bacia hidrográfica. Agropecuária.

Abstract

The objective of this article was to evaluate the environmental conditions of Cerrado forest fragments, in the Pedras river basin, in Itaberaí (Goiás), using landscape metrics and vegetation index. The fragments were mapped and classified by size and the edge effect,



anthropogenic exposure and normalized difference vegetation (NDVI) indices were applied. The basin has an area of 36900 hectares where 296 fragments were mapped, totaling 4,421.02 ha. The results indicated that 75.68% of the fragments had a high rate of edge effect, totaling 224 fragments. In relation to the anthropogenic exposure index, the predominance was also for the upper class, with 237 fragments. NDVI values ranged from 0.2 to 0.92, with an average of 0.75, indicating good conditions for vegetative vigor and photosynthetically active production, but with better conditions for the largest fragments and their nuclear region.

Keywords: Fragmentation of landscapes. NDVI. Hydrographic basin. Agriculture.

Resumen

El objetivo de este artículo fue evaluar las condiciones ambientales de fragmentos de bosque del Cerrado, en la cuenca Del río Pedras, en Itaberaí (Goiás), utilizando métricas paisajísticas e índices de vegetación. Los fragmentos fueron mapeados y clasificados por tamaño y se aplicaron índices de efecto de borde, exposición antropogénica y diferencia normalizada de vegetación (NDVI). La cuenca tiene una superficie de 36900 hectáreas donde se cartografiaron 296 fragmentos, que totalizando 4.421,02 hectáreas. Los resultados indicaron que el 75,68% de los fragmentos tenían una alta tasa de efecto de borde, totalizando 224 fragmentos. En relación al índice de exposición antropogénica, El predomnio también fue para la clase alta, con 237 fragmentos. Los valores de NDVI oscilaron entre 0,2 y 0,92, com um promedio de 0,75, lo que indica buenas condiciones para el vigor vegetativo y la producción fotosintéticamente activa, pero com mejores condiciones para los fragmentos más grandes y su región nuclear.

Palabras-clave: Fragmentación de paisajes. NDVI. Cuenca. Agricultura.

Introdução

As métricas de paisagem e os índices de vegetação são indicadores da qualidade ambiental e ecológica de coberturas vegetais, sejam estas, áreas contínuas de vegetação natural ou fragmentos, ou áreas cultivadas, no caso dos índices de vegetação. Estes parâmetros se aplicam bem a ambientes com paisagens fragmentadas, especialmente por atividades agropecuárias, que requerem extensas áreas desmatadas para produção (Souza; Silva; Alves Jr, 2023).

As métricas de paisagens estão vinculadas as concepções metodológicas da ecologia de paisagens e consistem em modelos matemáticos que quantificam as características espaciais das manchas (fragmentos) e que podem ser utilizados como suporte para avaliação da dinâmica ecológica de ecossistemas fragmentados e sua condição em relação ao seu entorno (LANG; BLASCHKE, 2009; SOUSA, 2021). Dentre os parâmetros vinculados às métricas de paisagem, temos o índice de efeito de borda e o índice de exposição antrópica, parâmetros que avaliam diretamente as condições ambientais e ecológicas dos fragmentos em relação ao seu tamanho-forma e a

dinâmica em seu entorno (Turner et al., 1990; Ribeiro et al., 2009).

Os índices de vegetação são aplicados para avaliar as condições biofísicas e fitossanitárias da cobertura vegetal. Esses índices são elaborados por meio da combinação matemática de bandas espectrais do visível e infravermelho, que mensuram parâmetros como área foliar, vigor vegetativo, estresse hídrico, teor de clorofila, produção fotossintética e fotoquímica, fluxo de carbono, dentre outros (Shimabukuro; Ponzoni, 2007; Jensen, 2009). Os índices de vegetação têm se tornado cada vez mais usuais nas técnicas de monitoramento e avaliação ambiental de cobertura e uso da terra. O NDVI (*Index Vegetation Difference Normalized*) está entre os mais aplicados e mensura o vigor vegetativo a capacidade fotossinteticamente ativa (Huang; Chen; Cosh, 2009; Jamali, 2014; Souza, 2017).

Essas técnicas de análise da paisagem são instrumentos que tem contribuído na avaliação ambiental e monitoramento de territórios altamente fragmentados por atividades econômicas intensivas e extensivas, como as atividades agropecuárias. A fragmentação de ambientes naturais pode causar inúmeras alterações na dinâmica ecológica e ecossistêmica dos ambientes, com consequência na estabilidade dos solos, na dinâmica hidrogeológica e climática, na ciclagem de nutrientes e na perda da biodiversidade (Souza et al., 2018; Sousa et al., 2022).

O domínio do Cerrado no Brasil vem enfrentando um processo acelerado e intensivo de fragmentação de ambientes, resultado da expansão da fronteira agrícola e da criação de animais, refletindo na perda de mais de 50% das coberturas naturais, num período de pelo menos 50 anos (Souza; Martins; Druciaki, 2020). A ocupação do Cerrado no estado de Goiás, por atividades agropastoris, inicia-se na década de 1970, tornado o estado território do agronegócio, voltado principalmente para produção de grãos (Miziara, 2006; Santana, 2020).

A região centro-sul do estado de Goiás apresenta as mais expressivas perdas de cobertura natural de Cerrado para o cultivo de soja e introdução de pastagens, e o município de Itaberaí figura neste contexto espacial. Isso se dá pelas condições geomorfológicas e pedológicas da região, que favoreceram a expansão destas atividades. E, estas condições, implicam na necessidade de se compreender as consequências ambientais e ecológicas da fragmentação das paisagens de Cerrado, nas áreas de intenso uso da terra por atividades agropecuárias.

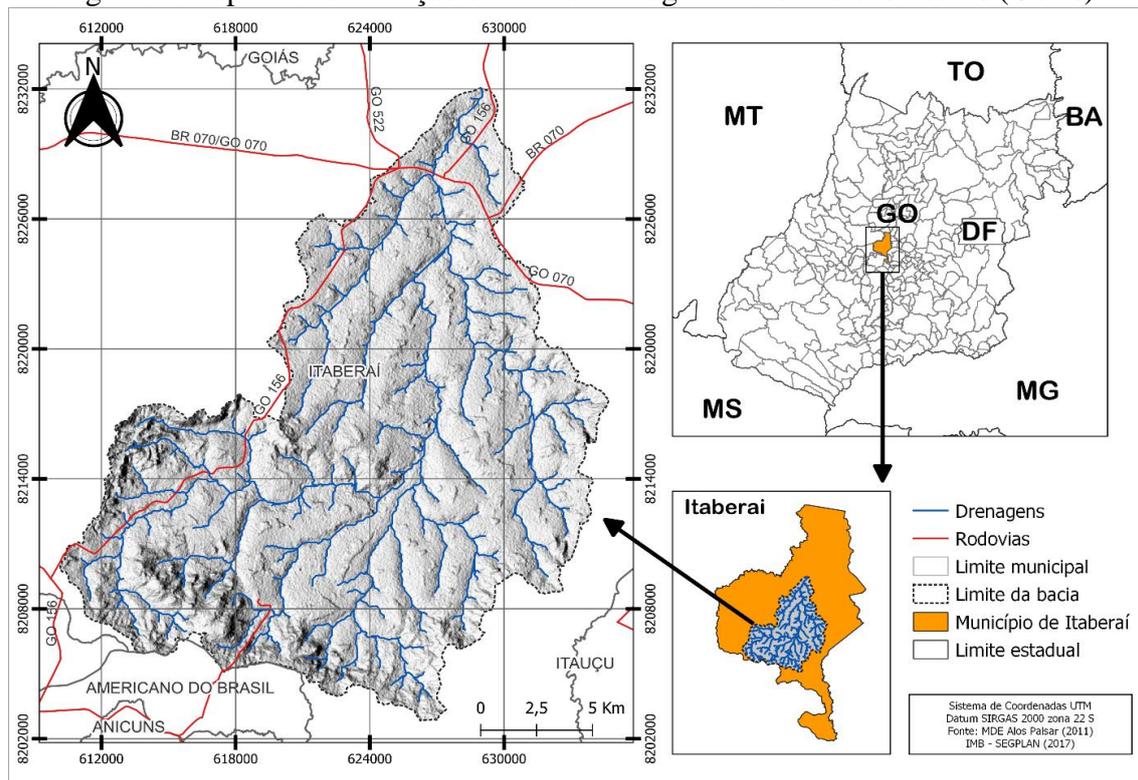
Assim, objetivou-se com este estudo, avaliar as condições ambientais dos fragmentos florestais de Cerrado, da bacia hidrográfica do rio das Pedras, em Itaberaí (Goiás), por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A BHRP localiza-se na porção central território goiano, compõe o sistema de drenagem da alta bacia hidrográfica do rio Uru, que por sua vez drena suas águas para o rio Tocantins (Figura 1). A bacia tem uma área de 369 km², está localizada predominantemente no município de Itaberaí, estado de Goiás, abrangendo áreas compostas originalmente pelo domínio morfoclimático e fitogeográfico do Cerrado.

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras (Goiás)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Segundo Silva e Sano, (2016) o Cerrado pode ser considerado como um ecossistema de savanas, que ocorre na região central do Brasil, sob influência das

características do meio físico e da sazonalidade climática. Apresenta fitofisionomias florestais, arbustivas e gramíneo lenhosas e, que ocupa uma área aproximada de 2.000.000 km², que corresponde por volta de 23% do território brasileiro (Brasil, 2015).

Procedimentos metodológicos

Para definição das classes de uso e cobertura da terra, para o ano de 2022, foi feita uma vetorização manual das classes, sobre a composição RGB de imagens OLI/Landsat 8, do ano de 2022, com datação de 30 de março (órbita 222, ponto 71). Estas imagens são disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS). A partir deste mapeamento foi feita a separação dos fragmentos florestais de Cerrado e a classificação dos mesmos por tamanho, para aplicação das métricas de paisagem. Foram considerados os fragmentos de tamanhos pequeno (≥ 5 a 10 ha), médio (> 10 a 50 ha), grande (> 50 a 100 ha) e muito grande (> 100 ha), parâmetros baseados na classificação proposta por Pirovani et al. (2014). Após a definição dos fragmentos que foram analisados, procedeu-se a correlação destes com o índice de vegetação.

Foram aplicados alguns parâmetros de métricas de estrutura da paisagem, aos fragmentos, com base na metodologia proposta por Lang e Blaschke (2009), considerando: Área da Classe (ha); Número de Fragmentos; Tamanho médio dos Fragmentos (ha) e Índice de Circularidade (IC) (Pirovani et al., 2014).

O valor de IC varia de zero 0 a 1, o que permite saber se o fragmento se apresenta mais circular, com valores próximos de 1 ou mais alongado (irregular), com valores próximos de zero. Os valores mais próximos a 1 (mais próximos do formato circular) são os desejáveis, já que a razão entre borda e interior será menor, consequentemente o fragmento estará mais protegido no seu interior quanto ao efeito de borda (Nascimento et al., 2006; Pirovani et al., 2014). O centro do fragmento estará mais distante da borda (Pirovani et al., 2014). O IC é obtido por meio da seguinte equação 1:

$$IC = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P}$$

P

Em que: IC = Índice de circularidade; A = Área do fragmento florestal; P = Perímetro do fragmento florestal. O Índice de Efeito de borda (IEB) é um indicador que mensura o quanto os fragmentos florestais estão suscetíveis a interferências antrópicas. Seu valor também varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior será a pressão antrópica e menor as condições de manutenção e a conservação dos fragmentos (Lourenço; Silva; Sales; 2014). A faixa de entrono (*b buffer*) utilizada foi de 50 metros, uma adaptação da metodologia proposta por Takikawa (2020) (Equação 2).

$$IEB = \sum_{i=1}^n \frac{U_i \times A_i}{A}$$

Em que: IEB = Índice de efeito de borda; U_i = Peso atribuído ao tipo de cobertura e uso da terra do entorno em uma determinada faixa (Tabela 1); A_i = Área de cada tipo de cobertura e uso da terra ao redor do fragmento; A = Área da faixa do fragmento; n = Quantidade de cobertura e uso da terra; i = Tipo de cobertura e uso da terra.

Tabela 1. Pesos atribuídos às classes de uso e cobertura da terra

Classe	Peso
Área urbanizada	0,95
Cultura temporária	0,85
Pastagem	0,70
Cultura permanente	0,58
Silvicultura	0,33

Fonte: Adaptado de SOUSA et al., (2022).

O Índice de Exposição Antrópica (IEA) se refere-se ao grau de interferência antrópica em função dos diferentes tipos de cobertura e uso da terra que se encontram ao redor dos fragmentos. Este índice foi obtido por meio da equação 3 que segue, no qual foi considerada as variáveis: IC e IEB.

$$IEA = \frac{((1 - IC) + 2 IEB)}{3}$$

Em que: IEA = Indicador de exposição antrópica; IC = Indicador de circularidade; IEB = Indicador de efeito de borda.

O valor desse índice varia entre 0 e 1, onde se considera que quanto mais próximo ou igual a um (1), maiores são as pressões antrópicas sobre aqueles fragmentos e quanto mais o valor se aproxima ou iguala a zero (0), essa pressão se torna menos intensa (Lourenço; Silva; Sales, 2014).

O NDVI foi gerado na plataforma *Google Earth Engine*, onde foi utilizada um *script* para seleção de imagens e cálculo do índice. As cenas utilizadas foram do sensor OLI/Landsat 8, para imagens disponíveis para todo o ano de 2022. No cálculo do índice foi feita uma imagem índice considerando os valores de mediana. O índice apresenta valores que variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhores as condições ambientais dos fragmentos, com maior vigor vegetativo e produção fotossintética. No cálculo foi aplicado a seguinte equação 4:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

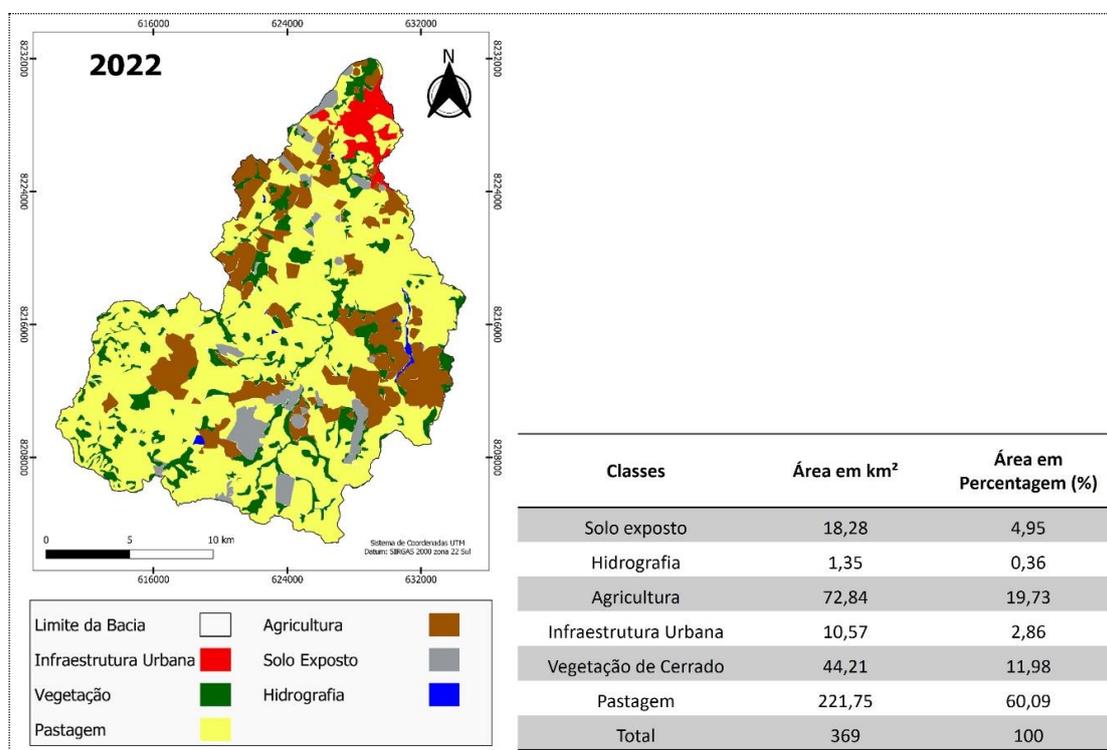
Em que: NIR = refletância na faixa do infravermelho próximo e R = refletância na faixa do vermelho.

Todos as técnicas de geoprocessamento e geração dos produtos cartográficos foram realizadas no *software* QGIS versão 3.16. O QGIS é um *software* livre com código-fonte aberto, com comandos que permitem a visualização, edição e análise de dados espaciais georreferenciados.

Resultados e discussão

As atividades de uso da terra predominantes na BHRP são os cultivos agrícolas de lavouras irrigadas, como soja, milho e cana-de-açúcar e as pastagens plantadas, para criação de gado leiteiro de corte (294,59 Km²) (Figura 2). Estas atividades ocupavam em 2022 cerca de 295 Km² e são favorecidas pelas condições ambientais da região, que apresentam relevos predominantemente planos a suave ondulado e solos profundos, como os Latossolos, que facilitam a mecanização.

Figura 2: Uso da terra e cobertura vegetal



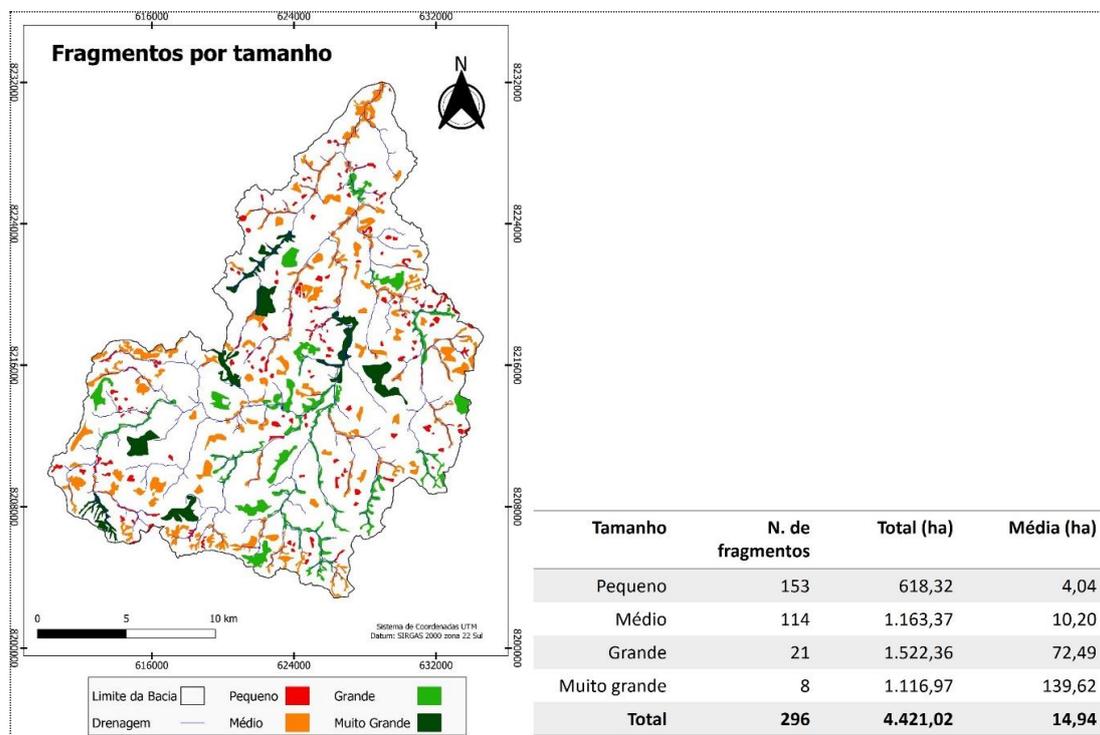
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A aptidão agropastoril da bacia provocou a supressão da vegetação de Cerrado e fragmentação da paisagem, restando pouco mais de 44 Km² de cobertura natural. Na Figura 3 estão espacializados os fragmentos florestais de Cerrado, classificados por tamanho. Cabe ressaltar que os remanescentes de Cerrado da bacia se classificam como formação florestal, pois foram identificadas mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão (44,21 Km²), de acordo com classificação proposta por Ribeiro e Walter

(2008).

Foram mapeados 296 fragmentos de tamanhos variados, que juntos somam 4.421,02 ha. Os fragmentos pequenos são predominantes, totalizando 153 manchas, variando de 0,44 haa 9,92 ha esomando 618,32 ha. Os fragmentos classificados como médios totalizaram 114, com dimensões variando de 10,04 ha a 49,8 ha, e somando 1.163,37 ha.

Figura 3: Classes de fragmentos florestais por tamanho e descrição quantitativa das classes



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os fragmentos pequenos são os que apresentam maior fragilidade ambiental por terem mais influência das alterações antrópicas em seu entorno (SOUSA et al., 2022). Na BHRP estes fragmentos ocorrem na maioria dos casos de forma isolada, como enclaves nas pastagens ou culturas temporárias.

Esta classe (fragmentos médios) apresentou alguns fragmentos isolados em áreas de atividade agropecuária, mas a característica dominante dos fragmentos médios é

serem alongados, servindo como corredores ecológicos e estarem associados aos sistemas de drenagens, compondo as matas ciliares e matas de galeria.

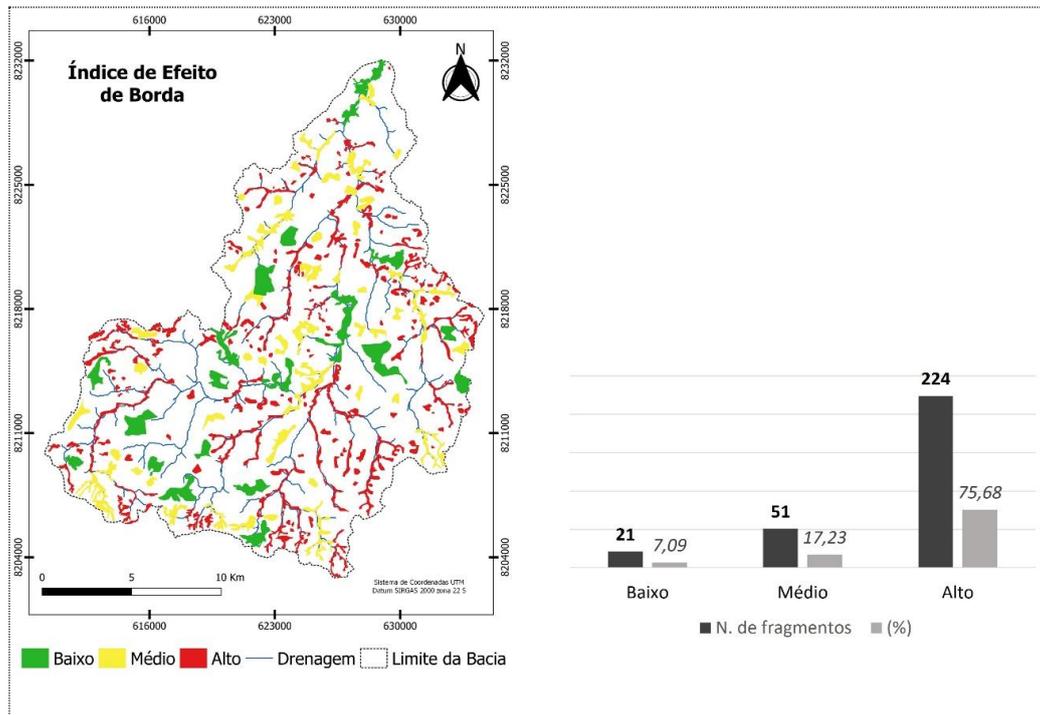
Quanto aos fragmentos grandes e muito grandes, foram mapeados 21 e 8 ocorrências, respectivamente. Os fragmentos grandes são os que registraram a maior área total entre as classes (1.522,36 ha), com dimensões que variaram de 54,14 ha a 95,22 ha e ocorrem predominantemente nos fundos de vale, próximo as drenagens e com feições mais lineares. Em relação a classe muito grande, os valores foram de 100,39 ha a 187,66 ha, ocorrendo nos fundos de vale e também nos interflúvios.

Cabe destacar que, apesar dos fragmentos maiores serem considerados ideais para os serviços ecossistêmicos, processos ecológicos e conservação da biodiversidade, os fragmentos pequenos podem servir de trampolim ecológico ou pontos de ligação, favorecendo a manutenção das espécies dos fragmentos maiores (RIBEIRO et al., 2009; PIROVANI et al., 2014; SAURA, BODIN, FORTIN, 2014).

O Índice de Efeito de borda (IEB) compreende as modificações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, observadas na área de contato do fragmento de vegetação com a matriz circundante, representada pelas atividades antrópicas (BLUMENFELD et al., 2016). Estas condições têm como causa a fragmentação das paisagens e, como consequência, a redução e/ou extinção de habitats e a perda de espécies locais, em função do aumento do isolamento dos remanescentes florestais (LAURENCE; YENSEM, 1991).

Na Figura 4 estão espacializados os fragmentos classificados de acordo com o IEB e onde também é apresentada a descrição quantitativa de cada classe. Pode-se observar que há o predomínio da classe alta de efeito de borda, com 224 fragmentos, que compreende 75,68% do total de 296 mapeados. Estes estão mais isolados, possuem formato mais circular ou feições lineares mais estreitas, acompanhando o leito dos rios. Os fragmentos com médio IEB, assim como os da classe alta, ocorrem principalmente nas margens dos cursos d'água, mostrando uma tendência de conservação das matas ciliares e/ou de galeria. Os fragmentos com IEB baixo apresentam maiores extensões, ocorrem nos interflúvios em relevos mais planos.

Figura 4: IEB dos fragmentos florestais e descrição quantitativa das classes



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Como observado na metodologia, o IEB não considera somente o tamanho do fragmento, mas também as atividades que se dão em seu entorno. Assim, fragmentos que estão em áreas agrícolas, com cultivos temporários, são mais impactados em suas bordas do que fragmentos envolvidos por silvicultura ou cultura perene por exemplo. Na bacia é recorrente o revezamento das culturas temporárias de soja e milho, nos métodos tradicionais de aragem da terra ou em plantio direto, e estas práticas deixam os fragmentos menores expostos a processos de degradação e perda de qualidade ambiental.

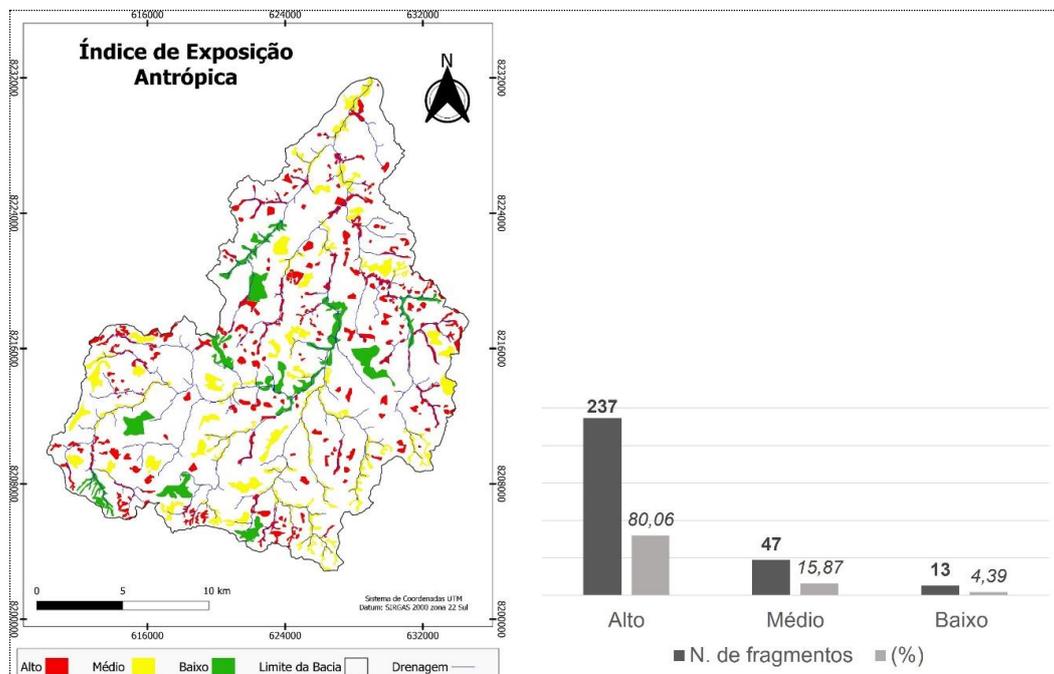
Dentre as consequências do efeito de borda, que mais impactam as condições ecológicas dos fragmentos na bacia, estão as pastagens plantadas. Estas são espécies de gramíneas exóticas, como capim *Brachiaria* e o *Mombaça*, que se adaptam bem às condições ambientais do estado de Goiás, colonizando de forma acelerada e adentrando em áreas naturais, representando uma ameaça à biodiversidade (Klink; Machado, 2005; MMA, 2014).

O IEA indica geoespacialmente a influência dos usos da terra do entorno do fragmento, associado ao IEB e índice de circularidade (IC). O IC é uma métrica que

associa a forma com o tamanho da mancha. Fragmentos mais alongados tendem a ser mais vulneráveis ao efeito de borda e aos impactos antrópicos, neste caso os valores de IC são próximos de zero. Os valores de IC próximos de 1 indicam feições mais circulares e com tendência à conservação (Lourenço; Silva; Sales, 2014; Lopes et al., 2020).

Na Figura 5 estão os resultados do mapeamento do IEA para a bacia, acompanhado dos dados quantitativos em relação a cada classe. Os resultados indicaram que 80,06% dos fragmentos da bacia, um total de 237, apresentam IEA Alto, estando em condições críticas de possibilidade de extinção.

Figura 5: IEA dos fragmentos e descrição quantitativa das classes



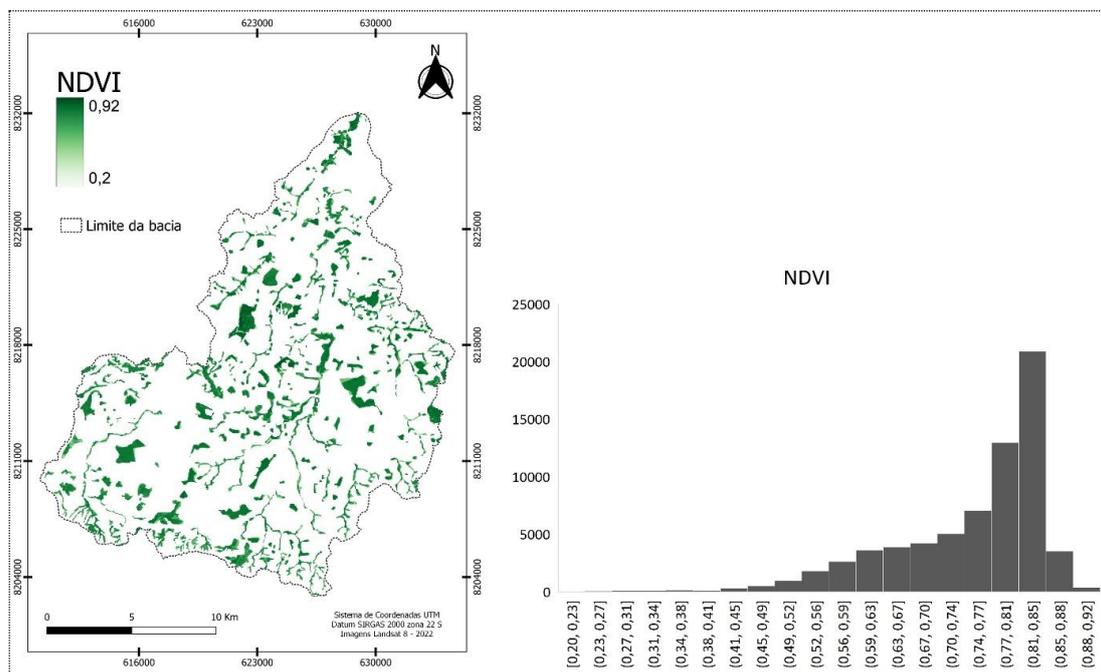
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os fragmentos classificados com médio índice de exposição, representam 15,87% da totalidade da bacia, somando 47 fragmentos de cerrado e apresentam maior extensão de área em relação aos classificados com alto índice de exposição. Os fragmentos identificados com baixo índice de exposição são uma pequena parte de elementos de cerrado na bacia, com 13 ocorrências, compreendendo apenas 4,39% dos fragmentos mapeados. Estes resultados evidenciaram alto comprometimento ambiental e ecológico do que resta de cerrado na bacia e, em função da dinâmica de uso da terra,

estas condições podem se agravar, com a possível extinção dos pequenos fragmentos, principalmente os que estão encravados em áreas agrícolas de culturas temporárias.

Na Figura 6 são apresentados a imagem índice de NDVI dos fragmentos florestais da bacia e o respectivo histograma. O índice variou de 0,2 a 0,92, com média de 0,75. Como pode-se observar no histograma, o pico de frequência variou entre 0,81 e 0,85.

Figura 6: NDVI dos fragmentos florestais do Cerrado



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8 – 2022; Elaborado pelos autores, 2024.

Os resultados indicaram que os fragmentos apresentaram condições muito boas de vigor vegetativo e produção fotossintética, com os valores mais elevados ocorrendo nos fragmentos grandes e muito grandes. As boas condições biofísicas dos fragmentos podem ser comprovadas se comparados aos resultados de Gamarra et al., (2016), que em estudos aplicados a fragmentos de florestais de cerrado, em unidades de conservação, encontraram valores médios entre 0,55 e 0,96.

O índice também apresentou significativa variação dos valores, indicando reduzida produção fotossintética e comprometimento da saúde das plantas, na borda dos fragmentos, nos fragmentos pequenos e em formatos mais lineares, nestes casos os

valores foram baixos indicando forte influência das atividades agrícolas de lavoura temporária.

Considerações finais

A fragmentação das paisagens de Cerrado tem sido intensificadas nos últimos cinquenta anos, impulsionadas pelo avanço da chamada fronteira agrícola, sobre as áreas de relevos mais planos e solos mais profundos, a exemplo do que ocorreu e está ocorrendo na porção centro-sul do estado de Goiás. A bacia do rio das Pedras se insere nesta realidade, tendo suas áreas naturais convertidas por pastagem plantadas e culturas temporárias, especialmente o cultivo de soja.

Esta realidade justifica a importância de aprimoramento dos estudos de avaliação ambiental, com aplicação de índices, indicadores e modelos ambientais, das áreas de Cerrado que estão sendo fragmentadas e superexploradas por atividades agropastoris.

No caso da bacia do rio das Pedras, os resultados dos índices aplicados, indicam que as condições de fragilidade dos fragmentos, estão principalmente relacionados às atividades agrícolas de culturas temporárias. Os fragmentos menores e com geometrias mais lineares, apresentam as condições mais críticas em relação ao efeito de borda, exposição antrópica e ao NDVI. As áreas centrais dos fragmentos grandes e muito grandes são os que apresentaram as melhores condições, isso porque reduz o efeito de borda, protegendo as áreas nucleares dos efeitos antrópicos.

Em função destas condições, os estudos ambientais têm recorridos a modelos e indicadores de avaliação de fragmentos de vegetação remanescente, porque são importantes instrumentos de análise ambiental e ecológica, contribuindo com a elaboração de cenários diagnósticos para definição de áreas prioritárias para conservação e/ou preservação da biodiversidade, bem como dos recursos hídricos.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

Referências

BLUMENFELD, E. C. et al. Relações entre Tipo de Vizinhança e Efeitos de Borda em Fragmento Florestal. **Ciência Florestal**, [S./l.], v. 26, n. 4, p. 1301-1316, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto Terra Class Cerrado 2013/MMA/SBF/**. Brasília: MMA, 2015.

FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R.. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal Of Remote Sensing**, [S./l.], v. 25, n. 10, p. 1837-1860, maio 2004.

GAMARRA, R. M. et al. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 37, p 307. - 332, Ago/2016.

HUANG, J.; CHEN, D.; COSH, M. H.. Sub-pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybean cropland using normalized difference water index (NDWI) from satellites. **International Journal Of Remote Sensing**, [S./l.], v. 30, n. 8, p. 2075-2104, 20 abr. 2009.

JAMALI, S. et al. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 141 p. 79–89, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2. ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphany (coord). São José dos Campos: Parêntese. 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [S./l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, Julho 2005.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LAURENCE, W. F.; YENSEM, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**, [S./l.], v. 55, p. 77-92, 1991.

LOPES, E. R. N. et al. Spatial Dynamics of Atlantic Forest Fragments in a River Basin. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 1, p. 1053 - 1062, 2020.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, v.10, n.3, p. 685-698, 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, [S./l.], v.10, n.3, p. 685-698, 2014.

MIZIARA, Fausto. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no Cerrado: o caso de

Goiás. **Natureza viva Cerrado**. Goiânia: Ed. da UCG, 2006.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Org.). **PPCerrado –Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015)**. Brasília: MMA, 2014.

NASCIMENTO, M. C.; et al., Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da Bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do Satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, [S./l.], v.30, n.3, p.389-398, 2006.

PIROVANI, D. B. et al. Análise Espacial de Fragmentos Florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, [S./l.], v.38, n.2, p.271-281, 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **CERRADO: Ecologia e Flora**. v. 1. Brasília: EMBRAPA, 2008.

RIBEIRO, M. C.; et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [S./l.], v. 142, p. 1141-1153, 2009.

SANTANA, C. A. M. Cerrado: pilar da agricultura brasileira. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 2, p. 39-58.

SAURA, S., BODIN, Ö.; FORTIN, M. J. Steppingstones are crucial for species' long-distancedispersaland range expansionthrough habitat networks. **Journal of Applied Ecology**, [S./l.], v. 51, p. 171-182, 2014.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

SILVA, L. da R.; SANO, E. E. Análise das Imagens do Satélite Rapideye para discriminação da cobertura vegetal do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 1277 68/7, p. 1269-1283, Jul/Ago/2016.

SOUSA, J. A. P. **Elaboração de um índice de vulnerabilidade ambiental dos fragmentos florestais da Mata Atlântica**. 2021. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba – São Paulo, 2021.

SOUSA, J. A. P. *et al.* Proposta de um Indicador de Sustentabilidade para Fragmentos Florestais (ISFF) por Meio de Modelagem Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S./l.], v. 15, n. 1, p. 250-267, mar. 2022.

SOUZA, J. C. de, et al. Method for Evaluating Plant Cover and Quantification Using Pixel to Pixel Correlation Indices. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, [S./l.], n. 12, 245-256, 2018.

SOUZA, J. C. de. **Metodologia para avaliação ambiental em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. 2017. 96 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2017.

SOUZA, J. C.; MARTINS, P.; DRUCIANKI, V. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée – Revista de Geografia da UEG**, [S./l.], v. 9, n. 2, p. e922020, p. 1-15, 8 set. 2020.

SOUZA, J. C. de; SILVA, J. R.; ALVES JR. L. R. Avaliação da qualidade ambiental dos fragmentos de Cerrado na bacia hidrográfica do Rio Vermelho em Goiás. **REVISTA DA ANPEGE**, [S./l.], v. 19, n. 38, p. 1-20, 2023.

TAKIKAWA, B. Y. **Proposta metodológica para elaboração de indicador de fragilidade florestal com o uso de geotecnologias**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, 2020.

TURNER, M. G; O'NEILL, R. V.; GARDNER, R. H.; MILNE, B. T. Effectsofchanging spatialscaleonanalysisoflandscapepattern. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 3, p. 153–162, 1990.

Autores

José Carlos de Souza – É Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Atualmente é Professor na Graduação e no Programa Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: BR-153, nº 3.105, Anápolis, Goiás, Brasil, Caixa Postal 459, CEP 75.132-903.

Nelton Nattan Amaral Nunes – É Graduado e Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: BR-153, nº 3.105, Anápolis, Goiás, Brasil, Caixa Postal 459, CEP 75.132-903.

Artigo recebido em: 27 de agosto de 2024.

Artigo aceito em: 10 de outubro de 2024.

Artigo publicado em: 15 de outubro de 2024.