

# MÉTRICAS DA PAISAGEM E MINERAÇÃO DE DADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL REPRESENTADOS POR CÉLULAS

Maria Antônia Falcão de Oliveira<sup>1</sup>, Maria Isabel Sobral Escada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PGSER), Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, Brasil {maria.oliveira; isabel.escada}@inpe.br

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo classificar a degradação florestal em diferentes padrões utilizando métricas da paisagem e mineração de dados em uma região do estado de Mato Grosso – MT. São utilizados dados do monitoramento de floresta do Inpe (DETER e PRODES) e de Planos de manejo Florestal Sustentável – PMFS. Uma tipologia é elaborada contendo 8 classes de degradação florestal: Degradação por efeito de borda; Degradação por fogo florestal; Degradação moderada; Degradação por corte seletivo desordenado; Degradação por corte seletivo geométrico; Degradação por corte seletivo geométrico em áreas de PMFS; Áreas de PMFS e Floresta intacta. O período da análise, corresponde ao período de 2017 a 2021. Dentre as classe analisadas, a classe degradação por efeito de borda, foi dominante em todos os anos, chegando a 56,43% ao final do período observado. Do total de floresta mapeada em 2017, 20% passou a ser classificada em alguma classe de degradação em 2021.

**Palavras-chave** – padrões degradação florestal, métricas da paisagem, classificação, geoDMA.

## ABSTRACT

*This study aims to classify forest degradation in different patterns using landscape metrics and data mining in a region of the state of Mato Grosso - MT. Data from Inpe's forest monitoring (DETER and PRODES) and from Sustainable Forest Management Plans – PMFS are used. A typology is elaborated containing 8 classes of forest degradation: Degradation by edge effect; Degradation by forest fire; Moderate degradation; Degradation by selective logging; Degradation by geometric selective logging; Degradation by geometric selective logging in PMFS areas; PMFS areas and Intact forest, considering the period from 2017 to 2021. Among the analyzed classes, the edge degradation class was dominant in all years, reaching 56.43% at the end of the observed period. Of the total forest mapped in 2017, 20% started to be classified in some degradation class in 2021.*

**Key words** – forest degradation patterns, landscape metrics, classification, geoDMA.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, grande parte da cobertura florestal da Amazônia vem sendo modificada por desmatamento e processos de degradação florestal [1]. A degradação florestal é uma forma crescente e gradual de perturbação da floresta a longo prazo [1–3] que envolve eventos de extração seletiva de madeira e fogo florestal [4].

A suscetibilidade a incêndios florestais geralmente aumenta substancialmente após atividades madeireiras desordenadas, que criam aberturas no dossel, tornando o microclima mais seco e aumentando a quantidade de material seco, propício a combustão [4, 5].

As aberturas de dossel produzem efeito de borda que influenciam na dinâmica e na composição biológica das florestas [5].

Os fenômenos de borda são notavelmente diversos, e incluem o aumento do estresse de dessecação que elevam acentuadamente às taxas de mortalidade e danos às árvores [6]. As alterações ocasionadas por efeitos de borda atravessam os fragmentos e podem ser observados em pelo menos 400 m de distância conforme há aumento da perturbação florestal, [7].

Dessa forma, percebe-se que a degradação pode ter diversas causas e pode ser caracterizada por um mosaico de feições e cobertura da terra (floresta, solo exposto, queimada e vegetação secundária) [8]. Para caracterizar este complexo mosaico que caracteriza a degradação florestal, faz-se necessário o uso de técnicas que permitam ter uma visão global do processo, [9]. Portanto, a análise por células, é considerada uma opção adequada para caracterizar essas áreas e observar sua dinâmica no tempo, pois cada célula, torna-se uma unidade de análise que será associada a um padrão de Degradação Florestal em um determinado momento [8].

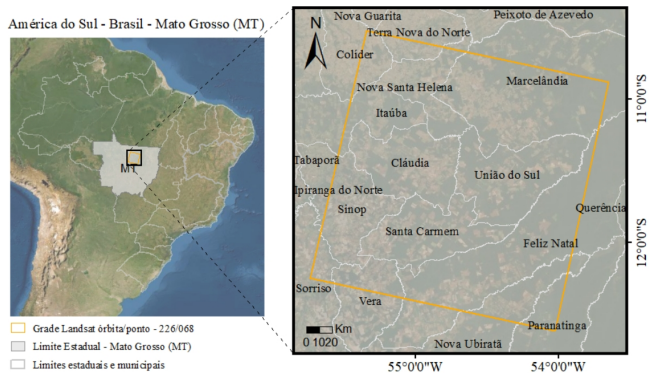
Neste contexto, este estudo tem como objetivo classificar a degradação florestal representada por células em diferentes padrões utilizando uma tipologia de padrões de degradação florestal, métricas da paisagem e algoritmo de mineração de dados em uma região do estado de Mato Grosso para o período de 2017 a 2021.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada em uma região central do estado no Mato Grosso e corresponde à área da cena 226/068

do sensor TM/Landsat. Essa área envolve os municípios de Cláudia, Santa Carmen, União do Sul e parte da área dos municípios Colíder, Feliz Natal, Itaúba, Marcelândia, Nova Santa Helena, Sinop, Sorriso, Terra Nova do Norte e Vera [10], conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1:** Localização da área de estudo - área da cena Landsat órbita/ponto 226/068, Mato Grosso - MT.

## 2.2. Período de análise e conjunto de dados utilizados

O período estabelecido para a análise, corresponde aos anos 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021. A base de dados cartográficos utilizada, corresponde aos dados do Sistema de Detecção em Tempo Real (DETER), dados do PRODES e Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) do Estado de Mato Grosso (MT). O sistema DETEER emite alertas de desmatamento e degradação florestal e os classifica em diferentes tipos. Para este trabalho, foram selecionadas as áreas detectadas como degradação, classificadas em quatro tipos pelo sistema: Cicatriz de Incêndios, Degradação moderada, Corte Seletivo Geométrico e Corte Seletivo Desordenado. A caracterização de cada uma das classes e metodologia de mapeamento podem ser encontradas em [2, 11].

Em relação aos dados do PRODES, foram utilizados os produtos: Floresta anual (2016 a 2021), Máscara de área acumulada de supressão da vegetação nativa mapeada até a 2021.

Os dados de PMFS correspondem às áreas com Autorização de Exploração (AUTEX), referentes aos planos ativos entre 2017 e 2021, concedidas após a aprovação pelo órgão ambiental. Esse dado foi obtido em formato vetorial, disponível no portal de metadados geográficos da Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT), [12].

Os dados do DETEER e PRODES foram adquiridos por meio da Plataforma de dados geográficos TerraBrasilis, disponíveis em: [13].

O conjunto de dados obtidos foram ajustados conforme o período estabelecido e limite da área de estudo. Além das classes de degradação mapeadas do DETEER, foi criada uma classe chamada efeito de borda. Essa classe foi construída utilizando como parâmetro as áreas de desmatamento consolidado mapeadas pelo PRODES.

Para estimar as áreas degradadas por efeito de borda, foi atribuída uma distância de 300 m da borda das áreas desmatadas e sobrepostas às áreas de florestas, também

mapeadas pelo PRODES. A distância de 300 m foi utilizada considerando as observações apresentadas no estudo realizado por Laurance et al. [7].

As áreas de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), também foram classificadas nesse estudo como um tipo de degradação florestal, ainda que de baixo impacto e com possibilidades de recuperação da floresta.

## 2.3. Tipologias de degradação florestal e extração de métricas da paisagem

A tipologia de padrões de degradação florestal foi definida por meio da análise visual dos padrões observados a partir das classes de degradação florestal das bases de dados utilizadas, apresentadas na sessão anterior. Para tal, foram observados os padrões dos polígonos relacionados com: 1) as classes de degradação do DETEER; 2) as áreas de borda florestal e; 3) as áreas de PMFS. Foram estabelecidas oito classes de padrões de degradação florestal: 1) Degradação por efeito de borda (DEF); 2) Degradação por fogo florestal (DFF); 3) Degradação moderada (DGM); 4) Degradação por corte seletivo desordenado (DCSD); 5) Degradação por corte seletivo geométrico (DCSG); 6) Degradação por corte seletivo geométrico em áreas de PMFS (DCSG-PMFS); 7) Áreas sob Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e; 8) Floresta intacta. Na Tabela 1, são apresentados os padrões e critérios observados para classificar os diferentes tipos de degradação.

A tipologia foi elaborada baseada em células com resolução espacial de 5 x 5 km, tamanho definido empiricamente. A abordagem celular foi realizada por meio de um sistema de mineração de dados espaciais, denominado *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA), desenvolvido por Korting et al. [14]. Esse sistema utiliza algoritmos que exploram os dados e descobrem padrões de interesse do usuário, incluindo o uso de grade celular e métricas da paisagem.

O preenchimento de células e a extração de métricas da paisagem foram realizados a partir do sistema *TerraView*, versão 5.6.1. e *plugin* GeoDMA, versão 2.0.3 beta.

## 2.4. Classificação dos padrões de degradação florestal

Nessa etapa, foram selecionadas amostras a partir da grade celular, que correspondiam aos tipos definidos na Tabela 1, utilizados como conjunto de treinamento para a classificação por árvore de decisão, utilizando o algoritmo C4.5, [15]. Nesse processo, cada célula é rotulada com um dos padrões definidos na tipologia [15]. Para tal, utilizou-se o procedimento do *Boosting* que gera  $n$  árvores de decisão, com a finalidade de melhorar o resultado final da classificação, [15]. Nesse sentido, foi utilizado os parâmetros definidos em [16], onde o *Boosting* foi rodado dez vezes a fim de escolher o que obtivesse o maior valor de  $kappa$  das amostras de teste, sendo  $n$  igual a 100. Foram coletadas um total de 322 amostras, contemplando todas as classes de cobertura, destas, 70% foram utilizadas para treinar o classificador e 30% para teste.

Padrão Espacial	Tipologias de Degradação Florestal	Descrição do padrão espacial
	Degradação por efeito de borda (DEB)	Predominância das áreas de degradação por efeito de borda.
	Degradação por fogo florestal (DFF)	Predominância das áreas de cicatriz de incêndio florestal detectadas pelo DETER.
	Degradação moderada (DGM)	Predominância das áreas de degradação florestal detectadas pelo DETER.
	Degradação por corte seletivo desordenado (DCSD)	Predominância das áreas de corte seletivo desordenado detectadas pelo DETER.
	Degradação por corte seletivo geométrico (DCSG)	Predominância das áreas de corte seletivo geométrico detectadas pelo DETER.
	Degradação por corte seletivo de madeira geométrico em área de Planos de Manejo Florestal (DCSG-PMFS)	Predominância das áreas de corte seletivo geométrico detectadas pelo DETER e áreas sob planos de manejo florestal do Mato Grosso.
	Áreas sob Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS)	Predominância da área sob Planos de Manejo Florestal do Mato Grosso.

- Desmat. PRODES
- Borda
- Cicatriz de incêndio
- Degradação
- CS Desordenado
- CS Geométrico
- PMFS
- Floresta PRODES

Tabela 1: Padrão espacial dos tipos de degradação florestal.

### 3. RESULTADOS

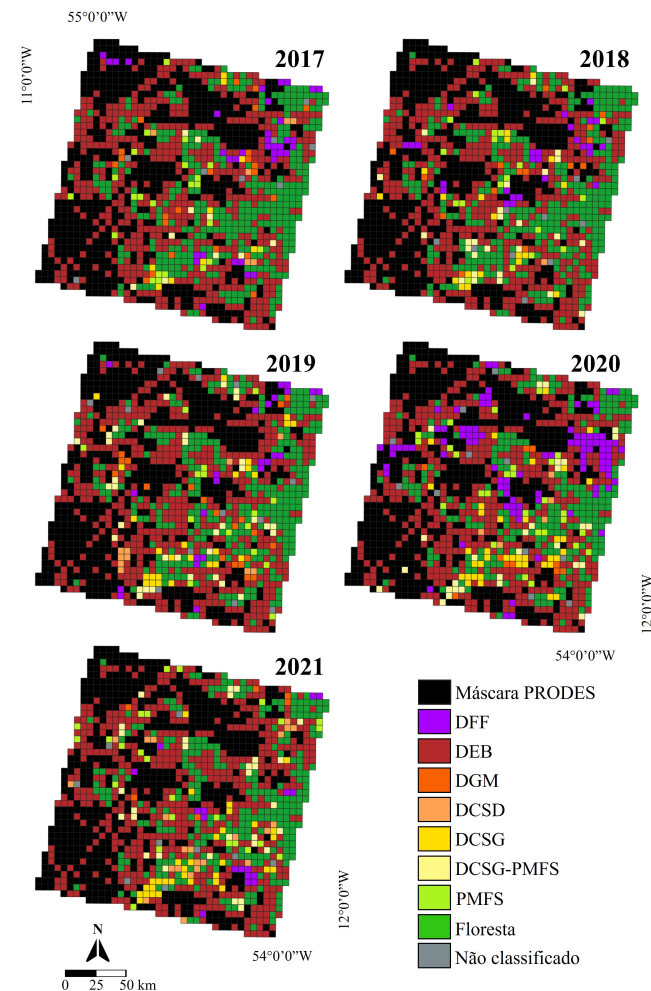
#### 3.1. Dinâmica dos padrões de degradação florestal entre 2017 e 2021

Na Figura 2 é ilustrada a classificação dos tipos de degradação florestal na área de estudo no período de 2017 a 2021. Em 2017, 33,90% da área foi classificada como floresta, em 2018 a área de floresta correspondia a 33,05%, reduzindo para 30,39% em 2019 e em 2020, 25,19%. Em 2021, a proporção de área de floresta foi estimada em 28,37%, ocasionando uma redução de 5,5% de 2017 para 2021.

Conforme apresentado na Figura 3, é possível verificar a proporção de área de floresta degradada obtida para cada ano, classificada de acordo com os tipos de degradação.

Dentre as classes de degradação obtidas, a classe efeito de borda apresentou maiores proporções de área em todos os anos analisados, correspondendo a 53,88% da área no início da análise e aumento progressivo em 2018 com 54,41% e 2019 com 54,30%. Em 2020, observou-se uma pequena redução em relação ao ano anterior, com 51,86%, e ao final do período observado, 2021, a área degradada por efeito de borda correspondia a 56,43%. A classe cicatriz de incêndio florestal apresentou maiores proporções em 2017 e 2020, com 3,83% e 10,20%, respectivamente. No último ano avaliado, observa-se um aumento nos padrões relacionados a degradação por extração seletiva de madeira, tanto o padrão

desordenado quanto geométrico. O padrão corte seletivo geométrico apresentou uma diferença de 2,44% entre 2017 e 2021 e o padrão desordenado 1,8% de diferença. Em todos os anos avaliados também é possível observar a ocorrência de algumas células não classificadas.



DEF = Degradação por efeito de borda; DFF = Degradação por fogo florestal; DGM = Degradação moderada; DCSD = Degradação por corte seletivo desordenado; DCSG = Degradação por corte seletivo geométrico; PMFS = Planos de Manejo Florestal Sustentável; DCSG-PMFS = DCSG em áreas de PMFS.

Figura 2: Classificação anual.

De acordo a análise multitemporal dos tipos de degradação florestal, ao comparar 2017 e 2021, observou-se que do total de floresta em 2017, 20% passou a ser degradação florestal em 2021. Desse total, 9,2% da degradação florestal mapeada foi por Efeito de borda, 1,5% por Fogo florestal, 2,2% por Corte seletivo desordenado, 3,0% por Corte seletivo geométrico, 2,2% por Corte seletivo geométrico em áreas de Planos de Manejo e 0,82% por Degradação moderada.

### 4. DISCUSSÃO

Neste trabalho foi proposto realizar uma classificação dos tipos e padrões de degradação florestal utilizando a abordagem de células e métricas da paisagem. Dessa forma, foi possível obter mapas anuais dos diferentes tipos de degradação florestal a partir da tipologia dos padrões de degradação definida. Dentre as classes de degradação obtidas,



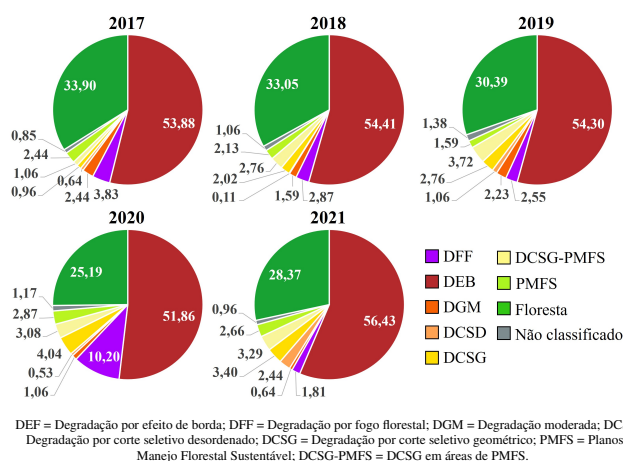


Figura 3: Proporção de área por tipo de degradação.

a classe Degradação por efeito de borda, foi dominante em todos os anos analisados, chegando a representar 56,43% da área total ao final do período observado. Esse valor pode ser justificado pelo fato da região em questão apresentar uma extensa área de desmatamento mapeada pelo PRODES. Segundo os dados oficiais [13], mais de 40% da área de estudo corresponde às áreas de desmatamento consolidado até 2021, conseqüentemente as áreas de distância da borda apresentaram grandes proporções e representatividade deste padrão.

Em 2021 a estimativa de área de floresta foi de 28,37%, área maior quando comparada ao ano de 2020, 25,19%. Uma das razões que justifica esse feito, é que em 2020 foram detectadas muitas áreas de queimada, entretanto, essas áreas não foram convertidas em outras classes mapeadas em 2021 pelo DETER, sendo então grande parte classificada novamente como floresta em 2021.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida foi eficaz para a detecção e classificação de padrões de degradação florestal. A classificação com base em células e métricas da paisagem, mostrou ser útil para determinar padrões de degradação florestal.

A metodologia apresentada demonstra grande potencial para detecção e mapeamento dos tipos de degradação florestal utilizando dados de monitoramento e dados do PMFS.

Futuramente, sugere-se gerar mapas com o gradiente de intensidade de degradação e avaliar as trajetórias de degradação convertidas em corte raso.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] E. A. T. Matricardi, D. L. Skole, O. B. Costa, M. A. Pedlowski, J. Howard Samek, and E. P. Miguel. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the brazilian amazon. *Science*, 369(6509):1378–1382, 2020.
- [2] C. A. de Almeida, L. E. P. Maurano, D. de Morisson V., G. Camara, L. Vinhas, A. R. Gomes, A. M. V. Monteiro, A. A. de Almeida Souza, C. D. Rennó, D. E Silva, et al. Metodologia para monitoramento da floresta usada nos projetos PRODES e DETER. 2021.

- [3] T. F. Pinheiro, M. I. S. Escada, D. M. Valeriano, P. Hostert, F. Gollnow, and H. Müller. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the amazon: the BR-163 region in Southwestern Pará, Brazil. *Earth Interactions*, 20(17):1–26, 2016.
- [4] M. A. Cochrane. Fire science for rainforests. *Nature*, 421(6926):913–919, 2003.
- [5] G. P. Asner, E. N. Broadbent, P. J. C. Oliveira, M. Keller, D. E. Knapp, and J. N. M. Silva. Condition and fate of logged forests in the brazilian amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(34):12947–12950, 2006.
- [6] W. F. Laurance, L. V. Ferreira, J. M. Rankin-De Merona, S. G. Laurance, R. W. Hutchings, and T. E. Lovejoy. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in amazonian tree communities. *Conservation biology*, 12(2):460–464, 1998.
- [7] W. F. Laurance, J. L. C. Camargo, P. M. Fearnside, T. E. Lovejoy, G. B. Williamson, R. C. G. Mesquita, C. F. J. Meyer, P. E. D. Bobrowiec, and S. G. W. Laurance. An amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biological reviews*, 93(1):223–247, 2018.
- [8] M. Azeredo, M. I. S. Escada, and G. Câmara. Mineração de dados espaciais utilizando métricas de paisagem. *São José dos Campos: INPE*, 2008.
- [9] T. F. Pinheiro and M. I. S. Escada. Detecção e classificação de padrões da degradação florestal na amazônia por meio de banco de dados celular. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguacu, PR, Brasil*, 2013.
- [10] V. do P. Capanema, T. F. Pinheiro, M. I. S. Escada, and S. J. S. Sant’Anna. Mapeamento de padrões de intensidade da degradação florestal: estudo de caso na região de Sinop, Mato Grosso. *Rev. Bras. de Cartografia*, 70(1):199–225, 2018.
- [11] C. G. Diniz, A. A. de A. Souza, D. C. Santos, M. C. Dias, N. C. da Luz, D. R. V. de Moraes, J. S. Maia, A. R. Gomes, I. da S. Narvaes, D. M. Valeriano, L. E. P. Maurano, and M. Adami. DETER-B: The new amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(7):3619–3628, 2015.
- [12] Secretaria de Estado de Meio Ambiente SEMA-MT. Autorização de exploração florestal para execução de projeto de manejo florestal - AUTEX. 2022. <http://www.sema.mt.gov.br/transparencia/index.php> (Acesso em: 17/08/2022).
- [13] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de monitoramento da amazônia e demais biomas. desmatamento – amazônia legal. 2022. <http://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/> (Acesso em: 25/07/2022).
- [14] T. S. Korting, L. M. G. Fonseca, M. I. S. Escada, F. C. da Silva, and M. P. dos Santos Silva. GeoDMA-A novel system for spatial data mining. In *2008 IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, pages 975–978. IEEE, 2008.
- [15] J. R. Quinlan. C 4.5: Programs for machine learning. *The Morgan Kaufmann Series in Machine Learning*, 1993.
- [16] L. C. O. Costa. Trajetória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na amazônia: A bacia do rio curuá-una, PA. Dissertação (mestrado em sensoriamento remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2018.