

MAPEAMENTO DE FITOFISIONOMIAS DE CERRADO POR SENSORIAMENTO REMOTO: DESAFIOS E POSSIBILIDADES

Flávia Regina de Queiroz Batista¹, Sergio Henrique Nogueira², Laerte Guimarães Ferreira³

¹ Universidade Federal de Goiás - UFG, CAMPUS II Samambaia - Goiânia - GO / CEP: 74001-970 frqbatista@gmail.com ² Universidade Federal de Goiás - UFG, Universidade Federal de Goiás - UFG, CAMPUS II Samambaia - Goiânia - GO / CEP: 74001-970 serque@gmail.com; ³ Universidade Federal de Goiás - UFG, Universidade Federal de Goiás - UFG, CAMPUS II Samambaia - Goiânia - GO / CEP: 74001-970 laerte@iesa.ufg.br

Key words — *Cerrado, Vegetation Types, Remote Sensing.*

RESUMO

O uso de sensoriamento remoto e o avanço do conhecimento científico alavancaram o conhecimento sobre as fisionomias vegetais existentes e sua distribuição nas últimas décadas. Este trabalho investiga as particularidades e desafios no mapeamento de fitofisionomias do Cerrado. Foram utilizadas imagens Landsat, dados amostrados em campo e realizada classificação semiautomática para o mapeamento das classes de vegetação do Parque Nacional das Emas (PNE). Para análise da estrutura da paisagem e sua variação espacial e temporal foram utilizados os índices de contágio e IJI, valores de NDVI e realizadas análises estatísticas do tipo Manova. A alta variação de resposta espectral nas mesmas classes e ao longo dos anos é um reflexo da dinâmica natural da vegetação, da ocorrência de queimadas e do aspecto altamente segmentado e intercalado da paisagem e se destacam como desafios na geração de um mapa de acurácia suficiente para monitorar as mudanças nessas classes de vegetação.

Palavras-chave — Cerrado, Fitofisionomias, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The use of remote sensing and the advancement of scientific knowledge have leveraged the knowledge about the existent vegetal physiognomies and their distribution in the last decades. This work investigates the particularities and challenges in the mapping of Cerrado phytophysiognomies. Landsat 8 images, field sample data and semi-automatic classification were used to map the vegetation classes of the National Park of Emas (PNE). For the analysis of the landscape structure and its spatial and temporal variation, we used the rates of contagion and IJI, NDVI values and performed Manova-type statistical analyzes. The high variation of spectral response in the same classes and over the years linked to the natural dynamics of the vegetation, the occurrence of fires and the highly segmented and mixed aspect of the landscape stand out as challenges in generating a map of sufficient accuracy to monitor the changes in these vegetation classes.

1. INTRODUÇÃO

Mesmo com os grandes avanços na ecologia e fitogeografia alavancados pelo uso de sensoriamento remoto, mapear e monitorar as diferentes formações de savana ainda é particularmente complicado devido à sua grande variação espacial e temporal. Como mapear e representar de forma estática uma vegetação tão heterogênea e dinâmica?

Assim como as demais formas de savana no mundo, o Cerrado apresenta grande variação estrutural: áreas savânicas com variada abundância relativa, densidade e altura de herbáceas, arbustos e árvores, áreas florestais com altura do dossel também variável, áreas campestres dominadas por herbáceas sobre diferentes tipos de solo e pouca ou nenhuma presença de arbustivas. É caracterizado principalmente por vegetação de savana com domínio de gramíneas e uma proporção maior ou menor de vegetação lenhosa aberta e árvores associadas. Condições abióticas, história evolutiva, queimadas, geadas, herbivoria, tipo de solo e sua umidade, fertilidade e atividade microbiana e a interação entre esses fatores podem explicar a maior parte da variação das proporções de extratos herbáceo, arbustivo e arbóreo nas savanas [1,2] e da heterogeneidade da paisagem do Cerrado.

Uma forma de classificar a vegetação levando em conta essa heterogeneidade é através de unidades fisionômicas que, se consideradas como sinônimo de formações [3], “se compõe de associações, que se diferenciam em sua composição florística, mas coincidem, em primeiro lugar, nas condições estacionais e, em segundo lugar, nas suas formas biológicas”, segundo a definição estabelecida pela Comissão de Nomenclatura do Congresso Internacional de Botânica, realizado em Bruxelas em 1910.

As discussões em torno da estrutura e funcionamento do Cerrado e as decisões sobre sua conservação demandam dados de monitoramento das mudanças da vegetação. As características de resolução espacial, espectral e temporal dos dados Landsat 8, além do acesso contínuo a séries de dados quinzenais de mais de 40 anos o tornam uma alternativa eficiente e econômica para o monitoramento de mudanças de cobertura e uso do solo e apoio aos estudos de ecologia e biodiversidade, mas mesmo os mais atuais mapeamentos de vegetação e de cobertura e uso do solo não

alcançam o nível de informação necessário para o monitoramento na escala da dinâmica da vegetação natural.

Este trabalho investiga os aspectos do Cerrado que representam desafios para o mapeamento de suas fitofisionomias e o estudo da dinâmica da vegetação nativa, ao mesmo tempo em que produz um mapa de acurácia suficiente para subsidiar estudos de monitoramento das classes de vegetação e manejo de áreas protegidas.

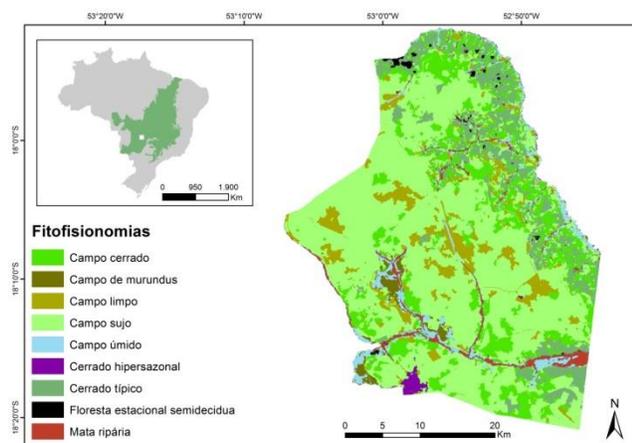


Figura 1. Mapa de cobertura do solo e localização do Parque Nacional das Emas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O Parque Nacional das Emas (PNE) é um dos mais importantes remanescentes de Cerrado do Brasil, considerado Patrimônio Natural da Humanidade e Região de Importância Biológica Extremamente Alta [4]. É uma Unidade de Conservação de 132 mil há localizada na porção central do Bioma Cerrado, no sudoeste do estado de Goiás (Fig.1).

Para a elaboração do mapa de cobertura do solo foram utilizadas imagens LANDSAT 8 OLI, Órbita/Ponto 224/72 e 224/73, de 11/02/2014, e os softwares ENVI 5.0 e ArcGis 10.2. Foram selecionadas as imagens que combinam menor extensão de áreas queimadas e maior variância espectral para a área do parque - LC82240722014042LGN00 e LC82240732014042LGN00, e realizou-se a segmentação da imagem utilizando o método de detecção de bordas (Edge) do software ENVI - mais sensível a mudanças bruscas na paisagem do que a mudanças graduais - no nível de escala 20, e o método de fusão Full Lambda Schedule no nível de fusão 90, com valor de Kernel de textura tamanho 19. Através de levantamento de campo amostrando toda a área acessível do parque segmento a segmento, registrou-se a classe de cobertura do solo predominante em cada um deles, e seus centróides foram utilizados como pontos de registro geográfico das amostras para a classificação dos segmentos de forma semisupervisionada. Também foram obtidas amostras das classes de cobertura do solo em trechos de difícil acesso em campo através de inspeção visual de

imagens Rapid Eye. Para definição das classes foi utilizado o sistema fisionômico-ecológico de classificação do IBGE, segundo o qual a savana (Cerrado) é um grupo distinto de florestas e outros grupos e é dividido em quatro subgrupos de formação: Savana Florestada (Cerradão); Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso); Savana Parque (Campo-Sujo-de-Cerrado, Cerrado-de-Pantanal, Campo-de-Murundus ou Coval e Campo Rupestre); Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo-Limpo-de-Cerrado). Realizaram-se a classificação da imagem utilizando o algoritmo K nearest neighbors – KNN no software ENVI, e a inspeção visual e correções no produto a partir do conhecimento de campo e de imagens de alta resolução disponíveis no Google Earth e Rapid Eye. Para a validação do produto gerado foi feita a conferência de 100 pontos sorteados na área e gerada a matriz de confusão.

Para descrever numericamente a variação espacial e temporal da vegetação foram calculados os dados de NDVI, índice que representa a diferença normalizada entre as bandas 5 e 4 da imagem Landsat. Para testar a significância da variação temporal foram realizadas análises de variância de medidas repetidas (MANOVA) utilizando o software “Statistica”, e supondo que a variação encontrada ao longo dos anos fosse aleatória.

Foram obtidas as amostras de NDVI no mesmo mês e mesmas coordenadas em quatro anos, de 2013 a 2016, e selecionados os mesmos pixels em uma área de campo sujo, em trechos onde as quatro imagens Landsat se apresentaram livres de nuvens. Também foi utilizado como critério na escolha das áreas que nenhuma delas tivesse passado por interferência natural ou antrópica exclusiva, que transformasse a fisionomia da vegetação ao longo dos anos ou agregasse variação diferenciada às amostras ou causasse incremento na variação da resposta espectral. Como não foi possível encontrar uma área que atendesse simultaneamente a todos estes critérios em todos os anos, uma exceção é que a área amostrada queimou completamente em junho de 2015. Desta forma, a amostra de 2016 deve ser considerada com ressalvas, apesar do período de 11 meses de recuperação da vegetação, e foram excluídas do teste estatístico (MANOVA).

Para avaliar as características da paisagem foram utilizados índices de divisão e de intercalação e justaposição (IJI), gerados pelo software Fragstats 4.2. Eles são métricas que representam a estrutura da paisagem, quantificam sua configuração em função das classes de vegetação. O índice de divisão indica a probabilidade de dois pontos sorteados ao acaso pertencerem à mesma classe de vegetação, e o IJI mede a intercalação das classes de vegetação em relação ao máximo possível para aquele número de classes. Ao contrário da maioria dos índices comumente utilizados, o IJI trabalha com os segmentos e não com os pixels, ele considera com que grau de uniformidade as bordas das classes de vegetação estão distribuídas, e é indiferente à resolução espacial [7]. O mapa apresentado na figura 1 foi elaborado em 2016, e apresenta as classes de cobertura do

solo e suas proporções na área total do parque. A validação dos resultados após inspeção visual e correções revelou 96% de acurácia no mapa produzido.

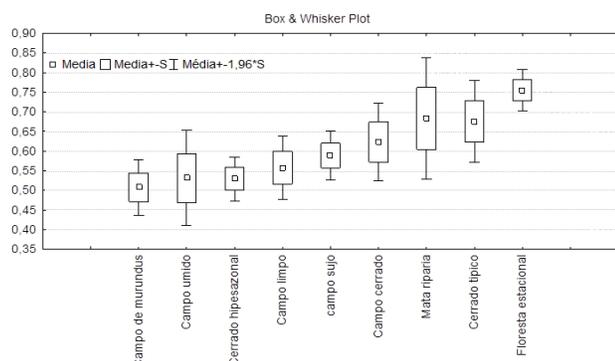


Figura 2. Distribuição dos dados de NDVI para toda a área do PNE segundo cada fitofisionomia.

3. RESULTADOS

Nas resoluções espectral e espacial das imagens Landsat foi possível mapear nove classes de vegetação: campo sujo, campo limpo, campo cerrado, mata ripária, campo úmido, cerrado típico, floresta estacional semidecidual, cerrado hipersazonal e campo de murundus [5,6]. As fitofisionomias campestres (cerrado hipersazonal, campo de murundus, campo úmido, campo limpo, campo cerrado e campo sujo) representam 86,5% da cobertura do solo no PNE contra 13,5% de vegetação florestal (Fig. 1).

A distribuição empírica dos dados de NDVI para a área total do parque (Fig.2.) mostra em ordem crescente os valores médios de NDVI para cada fitofisionomia: campo de murundus, campo úmido, cerrado hipersazonal, campo limpo, campo sujo, campo cerrado, mata ripária, cerrado típico e floresta estacional semidecidual. Isso coincide de um modo geral com o incremento de densidade de plantas arbóreas nas diferentes fitofisionomias. A distribuição dos dados mostra diferenciação entre vegetação campestre e florestal em valores de NDVI no intervalo de até um desvio padrão (68% dos dados em torno da média), com bastante coincidência entre as fitofisionomias dentro das duas categorias e com campo sujo e campo cerrado em uma faixa de valores de NDVI intermediária que pode se confundir com os valores obtidos tanto para a vegetação campestre como florestal. Entretanto, se considerarmos o intervalo de confiança de 94% dos dados a única fitofisionomia que se destaca completamente das demais é a floresta estacional semidecidual. Em relação à divisão da paisagem e quão misturadas estão as diferentes classes de vegetação, o índice de divisão aponta 80% de divisão da paisagem e o índice de intercalação e justaposição 69% do máximo possível.

A distribuição empírica dos dados de NDVI para pixels amostrados em área de campo sujo anualmente entre 2013 e 2016 mostra em ordem crescente os valores médios de NDVI acompanhando o acúmulo de biomassa pela

preservação da área de interferências antrópicas e queimadas, com queda em maio de 2016, 11 meses após a queima total da área.

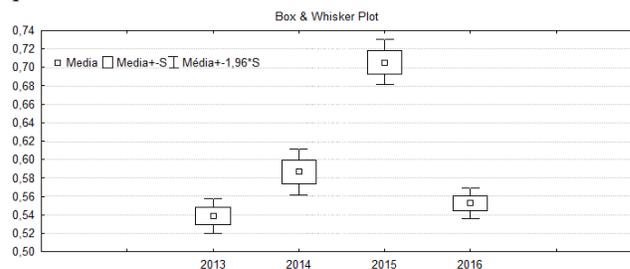


Figura 3. Distribuição dos dados de NDVI em diferentes anos (2013 a 2016) amostrados na mesma área de campo sujo.

Os dados de 2016 se apresentam em um intervalo de valores intermediários entre os registrados em 2013 e 2014 com sobreposição parcial de valores dentro do intervalo de confiança de dados de 2013 e médias distintas (Fig.3).

As análises de variância para as amostras de NDVI dos mesmos pixels em quatro anos diferentes (Fig. 3) mostram que a variação da resposta espectral da vegetação ao longo do período estudado não foi devida ao acaso ($F_{2,4906} = 163296$ $p < 0.01$).

Os mesmos valores de NDVI obtidos para amostras de campo sujo em maio de 2015 correspondem a valores de NDVI das áreas florestais do PNE em maio de 2016 (Fig.2). De forma semelhante os valores de NDVI de amostras de campo sujo registrados em 2014 correspondem ao NDVI de áreas campestres e florestais em todo o parque em 2016 (Fig.2), e os dados amostrados em 2013 e 2014 se misturam bastante em áreas predominantemente campestres, mas envolvem todas as fitofisionomias campestres além de campo sujo (Fig.2). Os intervalos de valores de NDVI das amostras de 2014 e 2015 correspondem a áreas completamente distintas daquelas representadas pelos valores amostrados em 2013 e 2016.

4. DISCUSSÃO

A variação natural de composição florística, altura, biomassa e fenologia do extrato herbáceo é uma provável explicação para a grande sobreposição de valores de NDVI encontrada entre as diferentes fitofisionomias (Fig. 2) e também entre a mesma área ao longo dos anos (Fig. 3). Áreas com grande quantidade de biomassa herbácea verde podem apresentar valores de NDVI até mais altos que áreas florestais em condições de menor quantidade de luz, CO₂ e umidade disponíveis devido à grande área de superfície foliar verde exposta. Em alguns trechos de campo sujo, gramíneas como o *Tristachya leiostachya* Nees (capim-flexa) podem ser abundantes e desenvolvidas ao ponto de cobrir toda a vegetação arbustiva e parte das arbóreas e confundir a identificação da fitofisionomia com o que se vê em uma área de campo limpo durante a amostragem em

campo. Paralelamente, em especial em determinados estágios de seu ciclo fenológico e dependendo da quantidade de biomassa verde acumulada e umidade disponível, esta mesma área pode apresentar valores de NDVI tão elevados que a confundem com áreas florestais na análise das imagens. Estes são aspectos que dificultam o trabalho humano de amostragem e o trabalho dos algoritmos de segmentação e classificação e podem impactar a acurácia do produto.

A alta segmentação da paisagem e a mistura dos segmentos das diferentes classes de vegetação do cerrado formam um mosaico com peças de extensão variada. Dependendo da escala de observação um segmento de determinada classe de vegetação incrustado em um segmento de outra classe pode ser visto como parte de heterogeneidade esperada para o segmento que o contém, e não como uma fitofisionomia distinta. “No mosaico de componentes herbáceos, arbustivos e arbóreos que formam as savanas, até mesmo os traços de formas de vida aparentemente uniformes são frequentemente vistos como diferentes em composição e estrutura no nível local ou micro escala” [8].

Mesmo a área de estudo não tendo sofrido queimadas ou alterações antrópicas nos últimos anos, a variação temporal da resposta espectral de uma mesma área não foi inferior à variação espacial encontrada entre diferentes classes, o que demonstra a enorme dimensão da interferência da dinâmica natural da vegetação na sua variação de resposta espectral. Este talvez seja o maior desafio para o correto mapeamento e monitoramento das fisionomias de cerrado, e indica que diferentes trabalhos podem chegar à produção de mapas muito diferentes para a mesma área caso não se tenha uma boa amostragem da vegetação no período e se realize a correção manual do produto por inspeção visual. Em muitos casos os custos financeiros e dificuldades de acesso à área de estudo podem ser impeditivos. O desenvolvimento de métodos e algoritmos mais eficazes na automatização da classificação é um caminho para melhorar a qualidade dos resultados e ampliar a escala dos mapeamentos, e devem considerar que alguns dos principais desafios para a classificação das formas de vegetação do Cerrado são a heterogeneidade espacial e temporal da vegetação, em especial do extrato herbáceo, e a variação da composição das classes em função da escala de observação e nível de detalhe considerado.

Vários estudos de sensoriamento remoto demonstram que a sobreposição espectral pode reduzir o desempenho dos trabalhos de mapeamento de cobertura do solo [9], mas a separabilidade espectral pode ser melhorada através do desenvolvimento de técnicas como aprendizado profundo, de aquisição de imagens, utilização de séries temporais e imagens hiperespectrais, múltiplas fontes de imagens e seleção de múltiplas métricas [10], que prometem grandes avanços na classificação de imagens de alta resolução espacial em largas escalas.

5. CONCLUSÕES

As variações sazonais, a dinâmica natural da vegetação - germinação de novos indivíduos, crescimento, floração, frutificação, senescência - além da ocorrência de queimadas, são as principais causas do aspecto altamente segmentado e misturado da paisagem em função das classes de vegetação, da alta variação de resposta espectral dentro das mesmas classes e sobreposição destes intervalos de valores entre classes.

Com bom levantamento de pontos amostrais para captar variação espacial das classes de vegetação em áreas de cerrado é possível produzir um mapa de fitofisionomias utilizando imagens Landsat8 e classificação semiautomática. Isso é viável em escala local como costuma ser o caso de UC e outras áreas protegidas, mas ainda é um grande desafio para trabalhos na escala de bioma e superiores.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho, situado no âmbito da iniciativa MapBiomias, teve o apoio da Fundação Gordon and Betty Moore (GBMF), da The Nature Conservancy (TNC), do WWF Brasil, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Gardner, T.A., 2006. Tree-grass coexistence in the Brazilian cerrado: Demographic consequences of environmental instability. *J. Biogeogr.* 33, 448–463. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01420.x
- [2] Mills, A.J., Rogers, K.H., Stalmans, M., Witkowski, E.T.F., 2006. A Framework for Exploring the Determinants of Savanna and Grassland Distribution. *Bioscience* 56, 579. doi:10.1641/0006-3568(2006)56[579:AFFETD]2.0.CO;2 .
- [3] Coutinho L.M. 2006. O conceito de bioma. *Acta Bot Bras* 20: 13-23.
- [4] Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- [5] IBGE, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. doi:ISSN 0101-4234
- [6] Ribeiro, J. F., & Walter, B.M.T., 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado, Cerrado : ambiente e flora.
- [7] O'Neill, R. V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zymunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H., Graham, R.L., 1988. Indices of landscape pattern, *Landscape Ecology*. doi:10.1007/BF00162741.
- [8] Furley, P.A., Ratter, J.A., 2013. Soil resources and plant communities the central Brazilian cerrado and their development. *J. Biogeogr.* 15, 97–108. doi:10.2307/2845050.
- [9] Johansen, K., Coops, N.C., Gergel, S.E., Stange, Y., 2007. Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. *Remote Sens. Environ.* 110, 29–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.014>.
- [10] Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., Shelestov, A., 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and 14, 778–782.