

Sensoriamento remoto na identificação de savanas amazônicas no sul do Amazonas e atribuição de fitofisionomias para o CAR

Rômulo César Carvalho Lima¹; Liliane Martins Minhós²; André Luiz Alencar de Mendonça³

¹. Engenheiro Florestal, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. E-mail: romulocesaar27@gmail.com

². Engenheira Florestal, Doutora em Ciências de Florestas Tropicais; Analista Ambiental/Fiscal, Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, Manaus-AM. E-mail: lilianemt@hotmail.com

³. Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Geodésicas; Professor Adjunto, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM. E-mail: andremendonca@ufam.edu.br

Resumo

O presente artigo trata da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no contexto do Cadastro Ambiental Rural (CAR) brasileiro para investigação e identificação acerca da Savana Amazônica, fitofisionomia presente no sul do estado do Amazonas. Neste trabalho, foram utilizadas imagens Landsat 5, modelos de Elevação Globais (ALOS e SRTM) em conjunto com algoritmos de processamento e de obtenção de informações na ferramenta de computação na nuvem GEE, para classificação e verificação de amostras de áreas de Savana. O resultado permite afirmar que há muita dificuldade na diferenciação entre alguns tipos de antropismo e áreas da Savana. Também foi atestado que, entre as duas classes, a diferença espectral é pequena ocorrendo apenas nas bandas do infravermelho e que a banda DEM acrescentada permite melhorias no desempenho de uma classificação semi-automática.

Palavras-chave: Resposta Espectral, Fitofisionomia, Cadastro Ambiental Rural.

Introdução

O bioma amazônico tem passado por intensas mudanças associadas a uma série de fatores, tais como, a exploração desordenada dos recursos naturais, a conversão da floresta em outros usos do solo (COSTA, 2000; NEPSTAD et al., 2000; LAURANCE et al., 2001; FEARNside, 2002; MERTENS et al., 2002; MARGULIS, 2003; ALENCAR et al., 2004), além da perda de ecótonos específicos que compõem os mosaicos de ecossistemas amazônicos. Na Amazônia existem aproximadamente 560 mil hectares de campos cerrados - também conhecidos como Savanas Amazônicas (COUTINHO, 1978) - distribuídos nos municípios de Humaitá, Canutama e Lábrea, no sul do Amazonas. Essa região vem sofrendo com o desmatamento ilegal para a expansão de atividades agropecuárias, como a soja e a pecuária, por isso, a região está incluída no chamado Arco do Desmatamento (CENAMO, 2011). Essas áreas não são cobertas por campos contínuos, mas por várias unidades isoladas entremeadas por matas (MARTINS et al., 2006), e muitas vezes, a análise da cobertura do solo que inclui este tipo de vegetação, fica fragilizada pela possibilidade de erro de interpretação na classificação do que é área antropizada e área de vegetação natural típica de savana. O sensoriamento remoto aplicado a análises de savanas amazônicas em meio à floresta contribui para a solução de problemas que envolvem a confusão espectral entre fitofisionomias de uso antrópico e natural (HAYAKAWA, 2009; CARVALHO et al., 2021).

O Cadastro Ambiental Rural (CAR), criado pela Lei nº 12.651 de 22/05/2012, é um registro público eletrônico que integra as informações ambientais georreferenciadas das Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Uso Restrito, Reserva Legal, Remanescentes de Vegetação Nativa, e Áreas Consolidadas de todos os imóveis rurais do Brasil. O CAR é uma estratégica ferramenta para a criação de políticas públicas voltadas ao uso sustentável dos recursos naturais, pois permite o mapeamento e a avaliação do uso e cobertura do solo para auxiliar no planejamento da gestão territorial e ambiental, compondo base de dados para o controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico do uso do solo e combate ao desmatamento (SOLARI, 2017). Desde a década de 1980, pesquisas sobre as respostas espectrais de alvos na floresta amazônica vêm sendo realizadas com intuito de diferenciar classes de uso, cobertura do solo e fitofisionomias por meio da curva espectral apresentada. O uso de dados orbitais de sensores remotos na geração de imagens de satélite é a ferramenta de uso crescente para elaboração de mapas temáticos e avaliação espectral de diversas fitofisionomias (BECERRA, 2008; APARÍCIO, 2009; SATO, 2011; SANTANA, 2019; SHIMABUKURO, 2020).

No âmbito do CAR, as classificações fitofisionômicas são fundamentais para a correta classificação da cobertura do solo assim como para a definição da Reserva Legal, uma vez que o art. 12 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, estabelece o percentual obrigatório de Reserva Legal de acordo com o bioma onde está inserido o imóvel. Assumindo a hipótese de

que é possível identificar áreas de Savana no Sul do estado do Amazonas, a partir de dados de imagens de satélite de épocas passadas, este estudo buscou fornecer algoritmos e amostras de treinamento para auxiliar as análises de CAR na região sul do Amazonas, na identificação desta fitofisionomia, considerando a resposta espectral e características topográficas da região.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em parte da região sul do Estado do Amazonas, compreendendo os municípios de Canutama, Humaitá, Lábrea e Manicoré, em 4 áreas com aproximadamente 608.722,7 hectares. Foram utilizadas imagens obtidas de sensores ópticos e modelos digitais de elevação, disponíveis no catálogo da plataforma Google Earth Engine (GEE) da missão (Landsat-5/TM para o ano de 1984, 2000, 2003 e 2008) e os MDE da missão SRTM (resolução de 30m) e ALOS PALSAR-2 (resolução de 25m). Para a diferenciação entre áreas de savanas naturais e áreas de savana antropizadas, principalmente por queimadas, foram utilizadas como base para classificação as imagens de satélite do ano de 1984. Ainda, como apoio a análises, foram utilizadas bases vetoriais referentes à vegetação, hidrografia, limites dos municípios, provenientes das bases do IBGE, ANA e MMA, além da utilização do ArcGis 10.8.1 na confecção de mapas.

Os dados foram processados na plataforma GEE, por meio de scripts desenvolvidos em linguagem de programação Python/Java Script, com uso da biblioteca do próprio GEE e seus dados disponibilizados em nuvem, incluindo bibliotecas de imagens de satélite gratuitas. Com a série de imagens Landsat-5/TM do ano de 1984, 2000 e 2008, foi realizada classificação supervisionada utilizando o algoritmo classificador Random Forest, em conjunto com o modelo digital de elevação da missão SRTM e ALOS PALSAR-2 para obter respostas espectrais dos alvos nas bandas de satélite e amostras de dados topográficos e das classes de Savana, Floresta, Antropismo e Água, na identificação das possíveis áreas de ocorrência de savanas. Foram utilizadas duas áreas para treinamento (áreas 1 e 2) e duas áreas para validação (áreas 3 e 4).

Nas duas primeiras áreas, o treinamento foi realizado com amostras pontuais de, aproximadamente, 50 pontos por classe para os três anos de estudo. Já para as duas áreas de validação foram coletados aproximadamente 15 pontos por classe, tendo como base a classificação realizada para o ano de 1984. A caracterização das savanas foi baseada na descrição morfológica proposta por Hayakawa e colaboradores (2009). Para avaliar a acurácia da classificação foi gerada a matriz de confusão (ZANETTI, 2017) e, a partir desta, foram calculadas métricas de acurácia, tais como: Acurácia de Produtor (AP), Acurácia do Consumidor (AC), Exatidão Global (EG), e Índice Kappa (K). A qualidade da classificação foi aferida por meio de amostras de validação, obtidas a partir da experiência do autor com análise do CAR de imóveis rurais do sul do Amazonas que detinham percentuais de Savanas em seu interior, além de verdades de campo obtidas por meio de vistorias realizadas por técnicos do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM).

A sequência metodológica seguiu os resultados obtidos por meio das análises citadas acima. Foram também elaborados gráficos (*charts*) contendo a resposta espectral das duas classes que mais se aproximaram: Savana e Antropismo, para subsídio da discussão da obtenção das amostras de treinamento. Os produtos esperados do trabalho estão na geração de bases de referência para a fitofisionomia Savana e demais classes disponíveis nos códigos da base de dados GEE do autor (*users/romulocesaar27/Monografia_Romulo_2022*), além de mapas temáticos das áreas estudadas.

Resultados e Discussão

Os valores de reflectância de superfície (BOA) indicam em que região do espectro eletromagnético as amostras de savana se diferem da classe antropismo utilizando imagens Landsat-5 para os três anos de estudo nas duas áreas de treinamento (<https://imgur.com/gallery/R6OkhE1> e <https://imgur.com/gallery/MAPkVNB>). De uma forma geral, observa-se para o conjunto de imagens que os resultados são condizentes entre si já que o comportamento das curvas espectrais é praticamente igual, independente do ano de estudo. Desse modo, a diferença entre as classes de savana e antropismo está a partir da banda 4, continuando nas bandas seguintes a partir do intervalo de 830 nm de comprimento de onda, onde nota-se uma pequena variação no comportamento espectral entre as classes para todos os anos.

Esse comportamento espectral ao longo dos anos comprova que novas conversões do uso do solo surgem e alteram as características das fitofisionomias, dificultando a diferenciação

espectral das classes de savana e antropismo. Logo, justifica-se a necessidade de se utilizar imagens de satélites antigas para identificação do panorama mais fidedigno da resposta espectral para a fitofisionomia Savana, corroborando com a decisão metodológica aplicada neste estudo. O perfil topográfico para as áreas de treinamento em relação às classes de savana e antropismo utilizando os Modelos Digitais de Elevação (MDE) da missão SRTM e ALOS PALSAR disponíveis no catálogo do GEE também foi calculado, e as áreas de Savana apresentam, conforme esperado, uma média de altitude mais elevada em relação às áreas antrópicas e áreas adjacentes. Segundo Hayakawa e colaboradores (2009), perfis topográficos utilizando MDE revelam cotas topográficas inferiores nas áreas de Savanas em relação às de floresta adjacentes, sendo, portanto, mais baixas. No entanto, os autores ressaltam que os dados oriundos dos MDE sofrem o fenômeno de efeito dossel em áreas de vegetação densa, não representando fidedignamente a topografia da área, mas sim a influência do dossel.

A partir das amostras de treinamento obteve-se o mapa de classificação supervisionada para os anos de estudo, representado na Figura 3 (<https://imgur.com/gallery/BMoHOyd>). Após comparação e interpretação visual da classificação, pode-se observar que o classificador produziu resultados adequados para algumas áreas, enquanto em outras observa-se confusão espectral, principalmente entre as classes de Savana e Antropismo, tendo em vista a ocorrência de conversões do uso do solo ao longo dos anos. Esta percepção visual é confirmada na matriz de confusão e na Exatidão Global (EG) e no Índice Kappa calculados via GEE. Por exemplo, para a Área 1 no ano de 1984, é possível constatar que de um total de 182 pixels distribuídos aleatoriamente e que representam os dados de referência, 168 se mostraram concordantes com a classificação. Isso representa uma exatidão global de 0,85, e índice Kappa de 0,81, considerado "quase perfeito" pela escala de qualidade proposta por Landis e Koch (1977) para o Kappa. A validação para a área 4, por exemplo, utilizou-se de imagem Landsat-5 para o ano de 2003 (cena 231/064), resultando em uma classificação com exatidão global de 0,85 e Índice de Kappa de 0,79.

Na área 2 observa-se a confusão espectral nas bordas dos cinturões das Savanas classificadas como Antropismo, mas que na realidade trata-se predominantemente de formações savânicas. Quando adicionadas ao classificador as bandas de elevação provenientes dos MDE SRTM e ALOS PALSAR observou-se que não houve diferença significativa para melhorar a classificação em relação a confusão espectral das classes estudadas, especialmente para Savana e Antropismo. Conforme o estudo visual das áreas de estudo, além da constatação da diversidade da fitofisionomia savana, a continuação deste estudo prevê novas amostras, considerando todas suas diferentes formações.

Conclusões

Utilizando-se da peculiaridade da ocorrência de fitofisionomias variadas dentro do bioma Amazônia, na região sul do estado do Amazonas, esta pesquisa construiu base de dados para auxiliar a análise da cobertura do solo dos imóveis declarados no Cadastro Ambiental Rural (CAR). A ferramenta GEE foi considerada uma opção bastante robusta, considerando que nela é possível tanto treinar um classificador quanto aplicá-lo em outras imagens. Foi possível classificar e obter a qualidade de uma classificação em 4 áreas de Savana no sul do AM, de forma a usar o classificador para outras áreas e imagens semelhantes. Também foi possível mostrar, com o uso destes classificadores, a diferença da resposta espectral entre Antropismo e Savana, para esta região, considerando a existência ou não de dados de elevação. Os resultados deste estudo contribuem com a hipótese de que é possível identificar savanas amazônicas por meio de classificações supervisionadas geradas na plataforma GEE com a ressalva de que para essas áreas deve-se utilizar imagens de satélite corrigidas geométrica e radiometricamente, de forma que permitam retratar as diferentes características dessa fitofisionomia para que seja possível diferenciá-las de áreas antropizadas devido às conversões de uso e cobertura do solo realizadas ao longo dos anos. Dessa forma, essas informações auxiliam nas análises de imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) que apresentam área de formações florestais, de cerrado ou campo gerais para que sejam definidos separadamente as fitofisionomias (Floresta/Savana) nas declarações quanto ao percentual de Reserva Legal. Tendo em vista a necessidade de se entender não somente o uso do solo nas áreas de propriedades rurais, mas também identificar formações florestais primárias, características de fitofisionomias distintas, para fins de verificação do passivo ambiental, bem como estratégias de recomposição da vegetação, este estudo pode servir como subsídio de análise da cobertura do solo, em regiões de savanas amazônicas, de acordo com o que determina a Lei 12.651/2012.

Referências Bibliográficas

- ALENCAR, A. et al. O desenvolvimento que queremos: ordenamento territorial da BR-163, Baixo Amazonas, Transamazônica e Xingu. Meeting report. 29-31, Santarém, 2004.
- APARÍCIO, C. et al. Metodologia de avaliação espaço-temporal da transição Pantanal-Cerrado-Amazônia. In: 2º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2009, Corumbá. 2º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. **Anais...**Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária- INPE, p.705-712.
- BECERRA, J. A. B.; YOSIO EDEMAR SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do Padrão Sazonal da Vegetação com a Precipitação na Região de Cerrado da Amazônia Legal, Usando Índices Espectrais de Vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2008.
- CARVALHO, W. S.; FILHO, F. J. C. M.; SANTOS, T. L. Land use and land cover using the Google Earth Engine Platform (GEE): Case study in a Conservation Unit. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021.
- CENAMO, M. C.; Carrero, G. C.; Soares, P. G. Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+): Estudo de oportunidades para a região sul do Amazonas. Série Relatórios Técnicos, v. 1, n. 1, 2011.
- COSTA, F. G. **Avaliação do potencial de expansão da soja na Amazônia Legal: uma aplicação do modelo de Von Thünen**. 2000. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.
- FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental Management**, v. 30, n. 06, p. 748-763, 2002.
- HAYAKAWA, E. H. et al. Imagens Landsat-5/TM e modelos digitais de elevação SRTM aplicados à análise de savana em áreas florestais amazônicas. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009. Natal: INPE, 2009. p. 3219-3226.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LAURANCE, W. F. et al. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p. 438-439, 2001.
- MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia Legal. Brasília: Banco Mundial, ed. 1, 100 p. 2003.
- MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos Nativos e Matas Adjacentes da região de Humaitá (Am): Atributos diferenciais dos solos. **Ciênc. Agrotec.**, v. 30, n. 2, p. 221-227, 2006.
- MERTENS, B. et al. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 03, p. 269-294, 2002.
- NEPSTAD, D. et al. Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia. Belém: Gráfica e Editora Alves, 24 p. 2000.
- SANTANA, N. C.; JUNIOR, O. A. C.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Análise do ângulo de visada no comportamento espectral de imagens MODIS em áreas de floresta amazônica e cerrado. *Geografia Ensino & Pesquisa*, Santa Maria, v.23, e.10, p.19, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.5902/2236499434397>>. Acesso em: 28 mar. 2022.
- SATO, L. Y. et al. Classificação de áreas exploradas por sistema de corte seletivo na Amazônia. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011. Curitiba: INPE, 2011, p. 6688-6695.
- SHIMABUKURO, Y. E. et.al. Modelo Linear de Mistura Espectral: Conceitos Teóricos, Algoritmos e Aplicações em Estudos na Amazônia Legal. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 72, n. Especial 50 anos. 2020. Disponível em: DOI: <<https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>> Acesso em: 15 maio.2022.
- SOLARI, R. A. F. Aplicação de métodos de classificação supervisionada em imagens do Sentinel-2, como suporte ao cadastro ambiental rural. 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília - UnB, Brasília.
- ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; DUARTE, D. C. O. Comparação dos Métodos de Classificação Supervisionada de Imagem Máxima Verossimilhança, Distância Euclidiana, Paralelepípedo e Redes Neurais em Imagens Vant, utilizando o Método de Exatidão Global, Índice Kappa e o Tau. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2017. II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica – CTIG, 2017. Presidente Prudente, 2017, p. 244-250.