







Técnica GEOBIA e as mudanças na paisagem de áreas naturais protegidas: estudo de caso no Parque Nacional da Serra da Canastra

Katyanne V. da Conceição ^{1*}, Frederico Cássio M. Martins ², Michel Eustáquio D. Chaves ³,
Guilherme Augusto V. Mataveli ³, Kelly de O. Barros ⁴, João Vitor R. Guerrero ⁵

¹Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE), Departamento de Geoprocessamento, Brasil. (Autora correspondente: katyannevc@gmail.com).

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSUDESTE-MG) – Campus Barbacena, Departamento 1 - Núcleo de Agricultura, Brasil.

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, Brasil.

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) - Campus Campo Novo do Parecis, Departamento de Ensino, Brasil.

⁵Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Ciências Ambientais, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 03/02/2021 – Revisado em: 11/03/2021 – Aceito em: 14/04/2021

RESUMO

A degradação em áreas naturais protegidas por Lei tem aumentado nos últimos anos. Logo, é necessário desenvolver estratégias para monitorar o espaço e gerar subsídios à fiscalização em tempo hábil. Mapeamentos sistemáticos anuais podem cumprir essa missão, porém, em regiões cujo uso da terra é heterogêneo, fitofisionomias de vegetação natural não-florestal são, comumente, confundidas com áreas antropizadas para pasto, especialmente no bioma Cerrado. Assim, o objetivo do presente estudo foi apresentar a técnica GEOBIA para avaliação da dinâmica temporal do uso e cobertura da terra no Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), localizado no Estado de Minas Gerais, entre os anos de 2005 e 2015. Para tanto, foram ponderadas a informação espectral de cada pixel, as informações referentes aos indicadores fenológicos, e as informações de forma, textura e contexto de objetos segmentados. Os resultados apontaram o aumento de 2.606,82 ha (1,32%) da área antropizada no PNSC, o que torna necessário aumentar medidas mitigatórias na região e intensificar fiscalizações. Diferente de mapeamentos sistemáticos, o método proposto é capaz de subsidiar a tomada de decisões em Unidades de Conservação heterogêneas.

Palavras-chave: Dinâmica temporal, Monitoramento de mudanças na cobertura da terra, Planejamento territorial, Unidades de Conservação.

GEOBIA technique and changes in the landscape of protected natural areas: a case study in the Serra da Canastra National Park (Brazil)

ABSTRACT

Degradation in natural areas protected by Law has increased in recent years. Therefore, it is necessary to develop strategies to monitor the space and generate subsidies for prompt inspection. Annual systematic mapping can fulfill this mission, however, in regions whose land use is heterogeneous, phytophysionomies of natural non-forest vegetation are commonly confused with anthropized areas for pasture, especially in the Cerrado biome. Thus, the objective of the present study was to present the GEOBIA technique for assessing the temporal dynamics of land use and cover in the Serra da Canastra National Park (PNSC), located in the state of Minas Gerais, between 2005 and 2015. For so much, the spectral information of each pixel, the information referring to the phenological indicators, and the form, texture, and context information of segmented objects were weighted. The results showed an increase of 2,606.82 ha (1.32%) of the anthropized area in the PNSC, which makes it necessary to increase mitigation measures in the region and intensify inspections. Unlike systematic mappings, the proposed method can support decision-making in heterogeneous Conservation Units.

Keywords: Temporal dynamics, Land cover changes monitoring, Territorial planning, Conservation Units.

Conceição, K., Martins, F., Chaves, M., Mataveli, G., Barros, K., Guerrero, J. (2021). Técnica GEOBIA e as mudanças na paisagem de áreas naturais protegidas: estudo de caso no Parque Nacional da Serra da Canastra. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.2, n.2, p.55-67.



1. Introdução

No Brasil, áreas naturais protegidas apresentam diferentes vulnerabilidades derivadas de distúrbios causados por atividades naturais ou, especialmente, antrópicas (de Oliveira et al., 2020). No bioma Cerrado, o segundo maior bioma da América do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 2.036.448 km² e cerca de 22% do território brasileiro (MMA, 2020), é notório o avanço de atividades antrópicas sobre remanescentes de vegetação nativa (Chaves et al., 2018; Chaves; Alves, 2019). Entre 2002 e 2011, o desmatamento no Cerrado foi 2,5 vezes superior ao ocorrido no bioma Amazônia, que, tradicionalmente, recebe mais atenção e ações de combate ao desmatamento e ao avanço ilegal de atividades antrópicas impactantes à fauna e flora (Strassburg et al., 2017). As atividades que mais causam impactos significativos no Cerrado são decorrentes do aumento demográfico e do avanço agropecuário que provocou a substituição da maior parte de vegetação natural por atividades de monoculturas florestais e agrícolas, pastagens e mineração, entre outras. A pressão exercida por essas atividades tem atingido áreas naturais protegidas por lei, visto que apenas 19,8% de sua vegetação nativa está inalterada. O Cerrado é considerado um dos *hotspots* mundiais prioritários para ações de conservação da biodiversidade, por apresentar espécies endêmicas ameaçadas de extinção, bem como importância climática, hídrica e ecossistêmica (Myers et al., 2000). Este bioma conta com apenas 8,21% de seu território legalmente protegido por Unidades de Conservação (UC), dos quais 2,85% pertencem à categoria de Proteção Integral e 5,36% à categoria de Uso Sustentável (MMA, 2020). Isso faz com que o monitoramento espaço-temporal da dinâmica de avanço do uso antrópico, das transformações na cobertura vegetal e da supressão da vegetação remanescente seja necessário para a tomada de decisões que visem à proteção do bioma (Beuchle et al., 2015, Picoli et al., 2020, Mataveli et al., 2021).

Por muito tempo, o monitoramento de extensas áreas geográficas, sejam estritamente naturais ou abarcadas por atividades antrópicas, foi considerado oneroso e inexequível. Porém, isso vem sendo cada vez mais viabilizado com o aperfeiçoamento de técnicas de análise temporal e de classificação de imagens orbitais voltadas à análise da dinâmica da paisagem e à caracterização da superfície terrestre (Guerrero et al., 2020a; Chaves et al., 2020). Entre as mais promissoras abordagens está a *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA), por ponderar, além da informação espectral pura, informações referentes à forma, à textura e ao contexto (Hay; Castilla, 2008, Blaschke, 2010) para analisar paisagens heterogêneas.

A abordagem GEOBIA permite que elementos presentes em áreas densas e/ou heterogêneas sejam discriminados de acordo com suas características intrínsecas e de relação com a vizinhança dos alvos que os compõem, fatores que podem aumentar o grau de detalhamento das classificações de uso e cobertura da terra, auxiliando nas atividades de planejamento e gestão dos recursos florestais em áreas naturais protegidas (Mataveli et al., 2018, Guerrero et al., 2020b). Um exemplo prático é o caso do Parque Nacional da Serra da Canastra – PNSC, UC de Proteção Integral localizada no bioma Cerrado, em Minas Gerais. Marcado por afloramentos rochosos, estrato herbáceo heterogêneo e por conflitos relacionados à proteção de recursos naturais e ao direito à posse de terras, o PNSC possui uma paisagem de composição variada e difusa entre o que é vegetação remanescente e o que é área de uso antrópico. Tais características tornam difícil a análise e a classificação do uso e cobertura da terra a partir de reflectâncias derivadas de imagens de satélite. Neste sentido, a característica da GEOBIA de agregação de elementos além da informação espectral pode ser útil para a obtenção de análises mais detalhadas a respeito de elementos naturais e antropizados que compõem a paisagem.

Assim, o objetivo deste trabalho foi testar a aplicabilidade da abordagem GEOBIA para a classificação de uso e cobertura da terra no PNSC, visando avaliar a dinâmica espacial e temporal das mudanças transcorridas no período entre 2005 e 2015. Este período foi escolhido para a análise por representar uma década na qual a região do PNSC apresentou queimadas acima de 20 km² em, pelo menos, 4 anos (Cardozo et al., 2018), fenômeno que acometeu todo o bioma Cerrado, mais fortemente em 2007 e 2010 (Mataveli et al., 2018), ocasionando mudanças significativas na paisagem. Norteia este estudo a hipótese de que o uso da

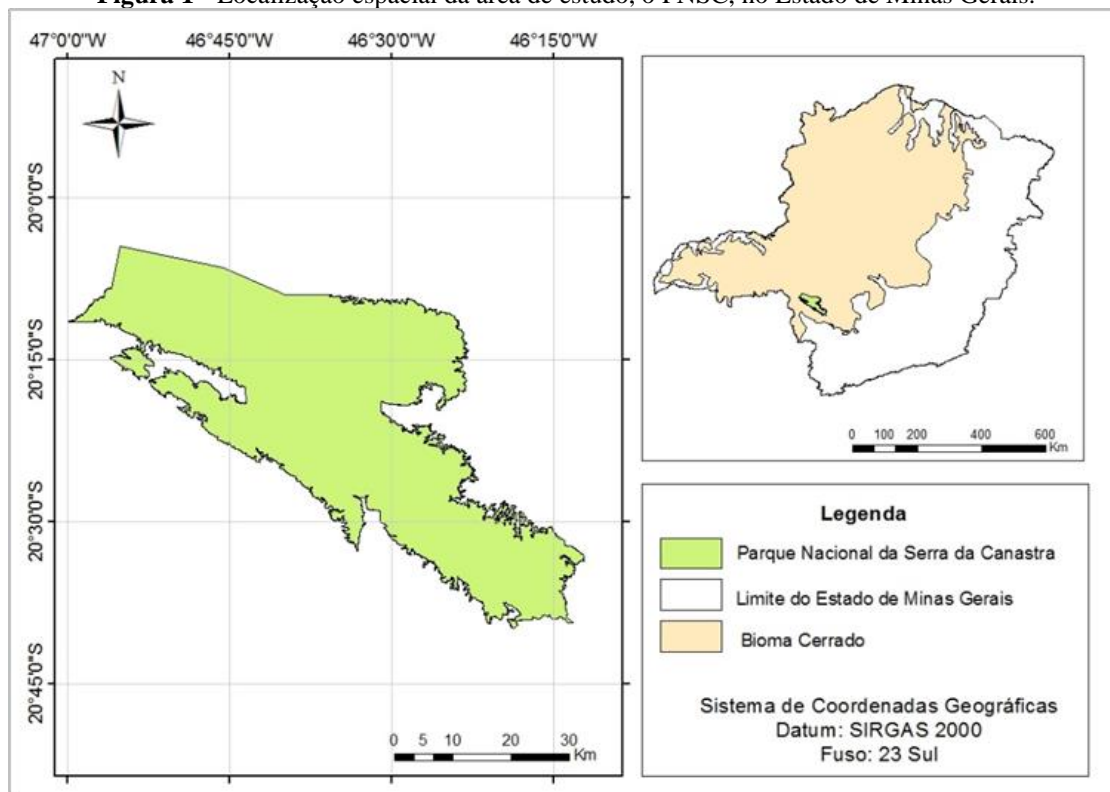
abordagem GEOBIA permite caracterizar e avaliar a dinâmica de paisagens heterogêneas em níveis local ou regional, sendo capaz de caracterizar as mudanças transcorridas com baixos custos e em tempo de implementação considerado hábil para a tomada de ações mitigadoras por parte de gestores.

2. Material e Método

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende o Parque Nacional da Serra da Canastra - PNSC, pertencente ao bioma Cerrado e geograficamente localizado na mesorregião Sudoeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1).

Figura 1 - Localização espacial da área de estudo, o PNSC, no Estado de Minas Gerais.



O PNSC foi instituído pelo Decreto nº 70.355, de 3 de abril de 1972, com a finalidade de preservar as nascentes do rio São Francisco e vários outros monumentos naturais. A área do PNSC é de, aproximadamente, 197.972,00 hectares, e sua delimitação abrange os seguintes municípios: São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista do Glória, Capitólio e Vargem Bonita (ICMBio, 2020). De acordo com a classificação de Köppen, o clima no PNSC é o Cwa, caracterizado por apresentar duas estações bem definidas: (i) quente e chuvosa (aproximadamente 1500 mm), entre os meses de outubro e março e (ii) fria e seca (menos de 10% das precipitações anuais), entre os meses de abril e setembro. A temperatura média anual varia entre 16 e 20°C na região da Chapada da Canastra e 18 a 23° C na região da Babilônia (Alvares et al., 2013). O relevo é composto por morros alongados elevados e colinas, com características topográficas, morfológicas e pedológicas distintas, com dois sítios arqueológicos pouco preservados e variada beleza cênica com grandes

paredões de rocha e cachoeiras (ICMBio, 2005). A vegetação é composta por diversas fitofisionomias de Cerrado, com predomínio de campos com formações florestais, savânicas e campestres.

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (BRASIL, 2000), o PNSC está inserido na categoria de UC de Proteção Integral, sua gestão está sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com uso indireto admitido para atividades de pesquisa científica, educação e turismo ecológico, desde que estejam sujeitas às normas e restrições estabelecidas em seu Plano de Manejo (ICMBio, 2005).

2.2 Base de dados

Os limites geográficos do PNSC, do Estado de Minas Gerais e do bioma Cerrado foram obtidos dos bancos de dados georreferenciados disponíveis do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do ICMBio, respectivamente. Os dados orbitais utilizados foram imagens dos satélites *Land Remote Sensing Satellite* – Landsat 5 e 8, sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Operational Land Imager* (OLI), respectivamente, obtidas do *United States Geological Survey* (USGS), disponibilizadas no portal <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens obtidas apresentam resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias, bem como correções atmosféricas, geométricas, radiométricas, além de serem ortoretificadas. Como a área do PNSC está entre duas órbitas/ponto, 219/74 e 220/74, foram escolhidas imagens de datas próximas, com a menor presença de nuvens possível (Tabela 1).

Tabela 1 - Imagens Landsat 5 e 8 utilizadas para os anos de 2005 e 2015, respectivamente.

Landsat 5/TM		Landsat 8/OLI	
Órbita/Ponto	Data	Órbita/Ponto	Data
219/074	01/08/2005	219/074	09/10/2015
220/074	13/10/2005	220/074	16/10/2015

2.3 Procedimentos metodológicos

2.3.1 Pré-processamento e cálculo de índices de vegetação

Esta etapa envolveu a projeção de todos os arquivos vetoriais e matriciais utilizados para o fuso 23 Sul, DATUM Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000. Posteriormente, as quatro imagens de satélite utilizadas no estudo foram equalizadas para que pudessem assumir o mesmo padrão radiométrico. Por último, realizou-se a extração das áreas de interesse por meio de recortes matriciais efetuados com base na sobreposição das camadas vetoriais.

Para suavizar as interferências causadas pela incidência da radiação solar e da atmosfera no processo de imageamento, bem como prover indicadores com base na fenologia com o objetivo de realçar diferentes classes de uso e cobertura da terra e melhorar a segmentação das feições, foram calculados os índices espectrais *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al., 1973), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Huete, 1988) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Gao, 1996). O NDVI (Eq. 1) visa realçar medidas de dados orbitais relacionados com a vegetação:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad (\text{Eq.1})$$

em que: ρ_{NIR} = reflectância na banda espectral do infravermelho próximo e ρ_{RED} = reflectância na banda

espectral do vermelho.

O SAVI (Eq. 2) visa atenuar as interferências de reflectância do solo e de efeitos de umidade:

$$SAVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L)} * (1 + L) \quad (\text{Eq.2})$$

em que: ρ_{NIR} = reflectância na banda espectral do infravermelho próximo, ρ_{RED} = reflectância na banda espectral do vermelho e L = apresenta valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa, sendo o valor 1 adotado para áreas com pouca cobertura vegetal.

O NDWI (Eq. 3) visa delinear feições de umidade, como corpos d'água:

$$NDWI = \frac{(\rho_{GREEN} - \rho_{NIR})}{(\rho_{GREEN} + \rho_{NIR})} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que: ρ_{NIR} = reflectância na banda espectral do infravermelho próximo e ρ_{GREEN} = reflectância na banda espectral do verde.

2.3.2 Segmentação, coleta de amostras e classificação

Dois etapas foram realizadas previamente à classificação: a segmentação de cada imagem em conjuntos de polígonos uniformes e a coleta de amostras para treinamento do algoritmo. A segmentação gerou geo-objetos espectralmente homogêneos, considerando, além dos parâmetros espectrais e o contexto, informações geométricas como tamanho, forma, suavidade, compacidade, cor e escala (Blaschke et al., 2014). Pixels adjacentes dentro de objetos espectralmente homogêneos foram agrupados, visando conduzir a classificação por meio de objetos como unidade mínima de processamento (Torres-Sánchez, 2015). O algoritmo de segmentação usado foi o *Multiresolution Segmentation* (MS) (Baatz; Schape, 2000), que se baseia na técnica de fusão de regiões e une conjuntos de pixels em unidades maiores, observando os critérios supracitados. Os parâmetros adotados para as imagens Landsat 5/TM foram: escala igual a 10, forma igual a 0.1 e compacidade igual a 0.9. Para as imagens Landsat 8/OLI, foram: escala igual a 30, forma igual a 0.7 e compacidade igual a 0.3. Tais parâmetros foram definidos a partir de testes prévios e sua aderência às características das imagens. Ressalta-se que a seleção de parâmetros de segmentação ainda é, comumente, pautada em testes, pois cada imagem possui características específicas (Toure et al., 2016, Watkins; van Niekerk, 2019).

Para o treinamento do algoritmo de classificação foram coletadas amostras das tipologias das duas classes de uso e cobertura da terra definidas para o mapeamento e análise temporal da paisagem: Áreas Naturais, compreendida por toda formação natural, como florestas, campos, afloramento rochoso, água, entre outros, e Áreas Antropizadas, compreendida por qualquer tipo de alteração realizada na paisagem pela ação humana, como pastagem, agricultura, silvicultura, barragens, mineração, estradas, entre outros. O conjunto de dados das amostras foi composto seguindo um método de amostragem estratificada, que define um número específico de amostras para cada classe, considerando toda a área de estudo (FAO, 2016). A estratificação é recomendada para melhorar a precisão da acurácia e estimativas de área (Olofsson et al., 2014). Foram coletadas 100 amostras representativas (segmentos) das principais classes de uso e cobertura da terra na área de estudo, com base na chave de interpretação visual desenvolvida pelo Projeto TerraClass (MMA, 2013), responsável por categorizar usos nos polígonos desmatados detectados pelo PRODES. Para áreas duvidosas, foram analisados perfis temporais dos índices espectrais NDVI e *Enhanced Vegetation Index* (EVI), derivados da ferramenta web SATVeg (Esquerdo et al., 2020). Esta metodologia foi aplicada por Conceição, Chaves e

Mataveli (2020) e por de Oliveira et al. (2020) para avaliar cenários de mudanças de uso e cobertura da terra, em nível de município e de Terra Indígena, respectivamente, na Amazônia.

Posteriormente, as imagens foram classificadas via algoritmo *Support Vector Machine* - SVM (Vapnik, 1995), que seleciona pequeno número de ocorrências de fronteiras críticas entre as tipologias da paisagem, as quais são denominadas “vetores de suporte” de cada classe e usadas para construir uma função linear discriminante que prioriza a criação de hiperplano que separa todas as amostras (Witten et al., 2011). Além dos atributos citados, os valores de média e desvio padrão das bandas espectrais das imagens Landsat, e média e desvio padrão dos índices de vegetação calculados, atrelados a cada objeto da imagem, foram utilizados como dado de entrada no processo de classificação. Ao final, as imagens foram exportadas para a geração do recorte espacial e do mosaico das imagens, bem como para a análise quantitativa.

2.3.3 Processo de validação

Para validar e verificar a acurácia da classificação foi determinado o índice Kappa, avaliado com base em uma matriz de erros que consiste na medida de concordância entre o mapa e a referência adotada para a estimativa da exatidão. A amostragem consistiu na obtenção de 203 pontos aleatórios para cada imagem, as quais foram determinadas a partir da equação da teoria de probabilidade binomial sugerida por Fitzpatrick-Lins (1981) (Equação 4):

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2} \quad \text{Eq.4}$$

em que N = Tamanho da amostra a ser usada para determinar a acurácia; p = Porcentagem da acurácia esperada para o mapa; q = 100 - p; E = Erro tolerável e Z = 2, derivado do valor de desvio padrão da curva de distribuição normal para nível de 95% de confiança.

A Equação 5 calcula o coeficiente Kappa (Cohen, 1960):

$$K = \frac{n \sum_{i=n}^c x_{ii} - \sum_{i=n}^c x_i + x + i}{n^2 | \sum_{i=n}^c x_i + x + i} \quad \text{Eq.5}$$

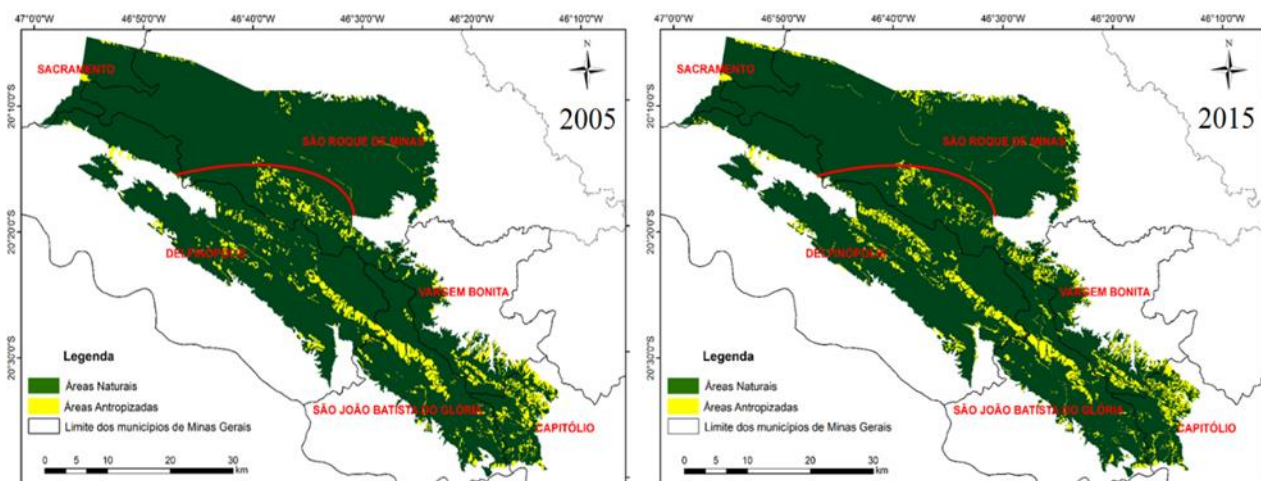
em que K = Coeficiente Kappa de concordância; n = Número de observações (pontos amostrais); x_{ii} = Observações na linha i e coluna i; x_i = Total marginal da linha i e $x+i$ = Total marginal da coluna i.

3. Resultados e Discussão

Os valores Kappa foram, respectivamente, 0,83 para a classificação de uso e cobertura da terra referente à 2005 e 0,82 para a classificação referente à 2015. Na escala desenvolvida por Landis e Koch (1977), que associa a validação da classificação e a imagem de referência por meio do intervalo de valores Kappa, ambas são consideradas excelentes. Pela análise espacial (Figura 2) é possível observar menor concentração de áreas antropizadas na porção do PNSC localizada entre os municípios de Sacramento e São Roque de Minas. Conhecida como Chapadão da Canastra, tal porção possui uso consolidado da terra e situação fundiária regularizada (IBAMA, 2005). Em contrapartida, a maior concentração de áreas antropizadas ocorreu sobre a região denominada de Chapadão da Babilônia, que não está totalmente regularizada e apresenta conflitos por

terra e impactos ambientais (IBAMA, 2005). A divisão entre os dois Chapadões é representada pela linha vermelha em cada mapa.

Figura 2 - Mapas de uso e cobertura da terra no PNSC para os anos de 2005 e 2015.



A análise quantitativa da área, em hectares (ha), das duas classes (Tabela 2), apresenta a antropização de 2.606,82 ha de vegetação nativa ao longo da década analisada.

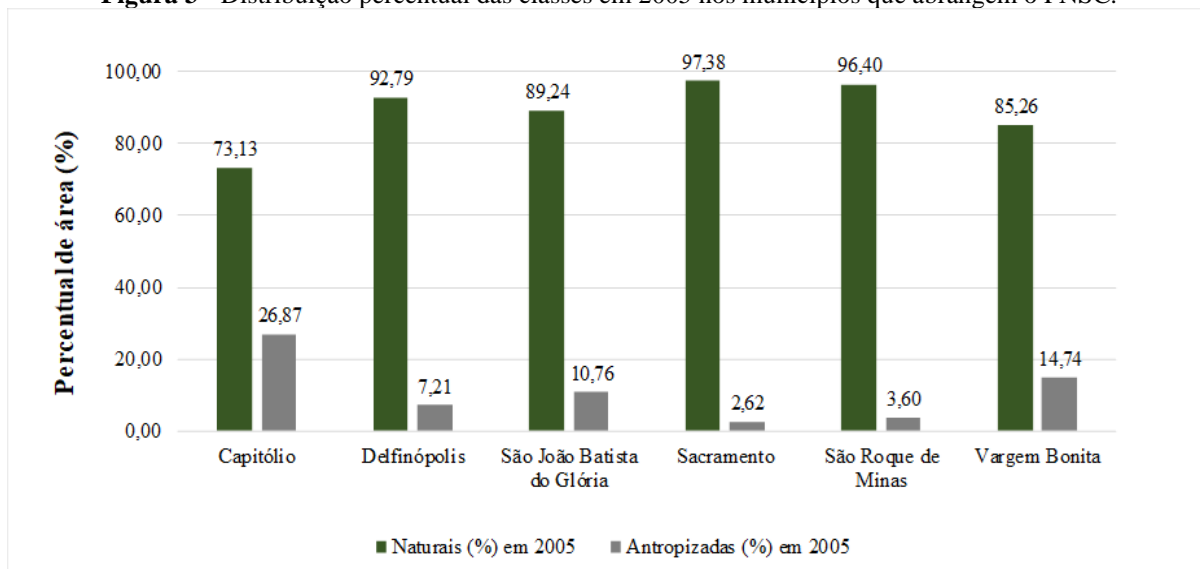
Tabela 2 - Análise quantitativa do total de áreas naturais e antropizadas no PNSC em 2005 e 2015.

	<i>Área em 2005 (ha)</i>	<i>Porcentagem em 2005</i>	<i>Área em 2015 (ha)</i>	<i>Porcentagem em 2015</i>
Áreas Naturais	183.317,30	92,60	180.710,48	91,28
Áreas Antropizadas	14.654,70	7,40	17.261,52	9,72
Total	197.972,00	100	197.972,00	100

A ação antrópica no PNSC deve ser interpretada com base nos pareceres jurídicos legais que envolvem a população residente e a sua relação com o meio ambiente, por se tratar de uma região rica em biodiversidade, mas repleta de conflitos por terra, diretamente relacionados à regularização fundiária das propriedades inseridas nos limites definidos pelo seu decreto de criação (Santos; Machado, 2015). O Plano de Manejo do PNSC, publicado em 2005 (ICMBio, 2005), apontava que, da área decretada em 1972 (200.000 hectares), apenas 71.525 ha estavam com a situação fundiária regularizada e sob posse e domínio do IBAMA. Embora o PNSC seja uma área prioritária para a conservação de fitofisionomias de Cerrado, a expectativa de cumprimento deste objetivo vem sendo fortemente afetada pelo histórico de atividades econômicas municipais, marcado por agropecuária, mineração e turismo, fatores que, geralmente, fazem do PNSC uma área vista como a ser explorada pelos municípios para gerar divisas (IBAMA, 2005; IBGE, 2006). Isso ocorre em detrimento à participação coletiva dos municípios na manutenção da biodiversidade local, não havendo unidade para tal. Inserindo a responsabilidade dos municípios e da população em conflito, e estratificando a análise, os resultados apontam que os municípios com maior concentração percentual de “Áreas antropizadas” foram Capitólio e Vargem Bonita. Delfinópolis apresentou a segunda maior área total de abrangência no PNSC, com 56.513,67 ha. No entanto, para estes municípios, o percentual de áreas antropizadas pode ser considerado baixo

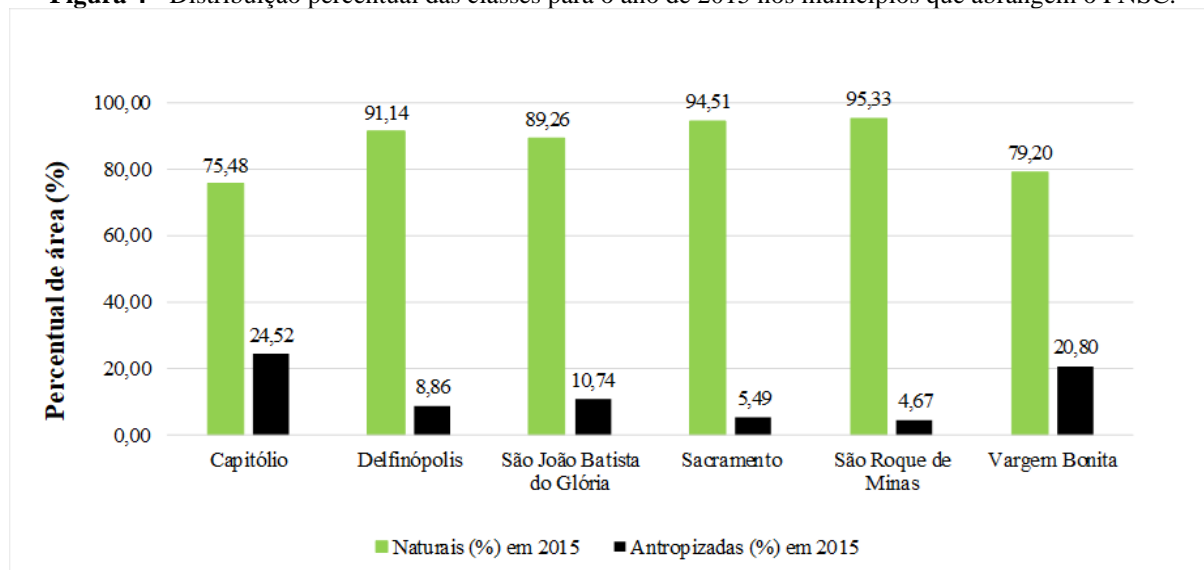
quando se considera o histórico local de ocupação e o não-pertencimento à região regularizada do PNSC. Em contrapartida, Sacramento e São Roque de Minas, localizados na região regularizada do PNSC, apresentaram as menores porcentagens de áreas antropizadas (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição percentual das classes em 2005 nos municípios que abrangem o PNSC.



Em 2015, a vegetação nativa foi reduzida, confirmando a tendência de avanço da antropização. A classe “Áreas naturais” ocupava 180.710,48 ha, enquanto a classe “Áreas antropizadas” ocupava 17.261,52 ha. Houve avanço da ocupação antrópica no sentido leste da região, em direção aos Chapadões da Canastra e da Babilônia, mantendo o padrão percentual de uso e cobertura da terra por município notado em 2005 (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição percentual das classes para o ano de 2015 nos municípios que abrangem o PNSC.



A região do PNSC inserida nos municípios de Capitólio, Vargem Bonita e São João Batista do Glória continuou apresentando maior percentual de antropização, o que pode ser explicado, em partes, pelo proporcional em relação à área total de cada município, pelas atividades econômicas desenvolvidas e pela demora na regularização do Chapadão da Babilônia, que recobre parte dos municípios. Vargem Bonita, inclusive, apresentou a maior redução de áreas naturais no período (85,26% em 2005 para 79,20% em 2015). Também houve aumento em áreas antropizadas nos municípios de Delfinópolis e São Roque de Minas, mesmo a porção do PNSC deste último município esteja inserida em área regularizada. Estudos recentes apontam que, entre as atividades antrópicas, há o predomínio de agricultura camponesa, notada especialmente pela consorciação entre plantios agrícolas e pastagens no manejo de terras (Ferreira; da Silva, 2019), subsidiado pelo uso adequado do fogo (Ferreira, 2013).

Tais resultados apresentam clara divisão entre as Chapadas da Canastra e da Babilônia. Devido aos conflitos contínuos de uso da terra na região, e, para permitir a extração de recursos minerais, recentemente foi proposto restringir a extensão do parque apenas à região de Canastra. Em janeiro 2017, o pastoreio de gado foi permitido em áreas não consolidadas nas Terras do parque, o que reavivou conflitos com o ICMBio (ICMBio, 2020). Embora o PNSC tenha sido criado em 1972, os esforços para promover regularização fundiária começaram em 1974, quando fazendas foram assumidas pelo governo, alegando interesse social, o que permitiu a remoção de famílias de suas propriedades. Os conflitos cresceram de forma constante nas décadas posteriores, inclusive a partir de 2005, quando um novo Plano de Gestão promoveu a integração de novas áreas dentro dos limites do parque. Este Plano de Gestão restringiu o acesso a recursos naturais e definiu políticas que estabelecem limites e reforçam a criminalização de práticas de uso indiscriminado do fogo na renovação de pastagens (Mistry, 1998). Sem alternativas, os agricultores continuaram usando o fogo ilegalmente para propriedades ou como forma de protesto, resultando em regimes de fogo indesejáveis caracterizados por grandes e severos incêndios florestais (Ferreira; da Silva, 2019).

4. Conclusão

O nível de exatidão obtido indica a robustez e a confiabilidade da abordagem GEOBIA para a análise temporal das alterações no uso e cobertura da terra no PNSC utilizando imagens de média resolução espacial. Isto torna o método proposto aplicável à outras áreas compostas por paisagens heterogêneas que se encontram sob crescente pressão antrópica. Os resultados corroboram com a atual preocupação sobre a preservação do Cerrado, visto que este bioma apresenta potencialidade para pastagens, cultura de grãos, construção de grandes barragens e estradas, mineração, entre outros, e é considerado uma das atuais fronteiras de expansão agrícola no país. A área antropizada aumentou em 2.606,82 ha (1,32%) entre os anos de 2005 e 2015, tendo a proporção mais acentuada na área abrangida pelo município de Vargem Bonita.

Para amenizar o avanço antrópico, especialmente na região não regularizada, faz-se necessário a legalização destas áreas, bem como, o aumento de medidas mitigatórias na região já regularizada, com foco em fiscalizações mais intensas e na educação ambiental. Para tal, o aperfeiçoamento do monitoramento do uso e ocupação no PNSC e em seu entorno com ferramentas tecnológicas de baixo custo capazes de entregar resultados satisfatórios, como apresentado neste estudo, se mostra útil. A adoção de ações de tal porte pode subsidiar estratégias que visem conservar e proteger a biodiversidade nessa e em outras UC.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – campus Barbacena e às agências de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de financiamento 001, processo 88887.351470/2019-00 (MEDC) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2019/25701-8 (GAVM).

6. Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorological Zeitschrift*, 22, 711-728.
- Baatz, M., & Schape, (2000). A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Beiträge zum AGITSymposium Salzburg. Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag.2000.p. 12 – 23.
- Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., & Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, 58, 116 – 127.
- 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, Brasília, DF, 19 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acessado em: dez/2020. 2000.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 65(1), 2-16.
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Feitosa, R., Van der Meer, F., Van der Werff, H., Vancoillie, F., & Tiede, D. (2014). Geographic object-based image analysis: a new paradigm in remote sensing and geographic information science. **ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 87, 180–191.
- Cardozo, F. da S., Pereira, G., Mataveli, G. A. V., Ramos, R. de C., Silva, L. R. S. da, & Faria, B. C. de (2018). Análise espacial das queimadas e seus impactos em Minas Gerais para o ano de 2014. **Caminhos de Geografia**, 19(66), 35-54.
- Chaves, M. E. D., Alves, M. de C., Oliveira, M. S. de, & Sáfadi, T. (2018). A Geostatistical approach for modeling soybean crop area and yield based on census and remote sensing data. **Remote Sensing**, 10(5), 680.
- Chaves, M. E. D., & Alves, M. de C. (2019). Recent applications of the MODIS sensor for soybean crop monitoring and deforestation detection in Mato Grosso, Brazil. **CAB Reviews**, 14(007), 1-9.
- Chaves, M. E. D., Picoli, M. C. A., Sanches, I. D. (2020). Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. **Remote Sensing**, 12(18), 3062.
- Cohen, J. A. (1960). Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, 20, 37-46.
- Conceição, K. V. da, Chaves, M. E. D., & Mataveli, G. A. V. (2020). Land Use and Land Cover Mapping in a Priority Municipality for Deforestation Control Actions in the Amazon using GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, 72(4), 574-587.

de Oliveira, G., Chen, J. M., Mataveli, G. A. V., Chaves, M. E. D., Seixas, H. T., Cardozo, F. D. S., Shimabukuro, Y. E., He, L., Stark, S. C., & Santos, C. A. (2020). Rapid Recent Deforestation Incursion in a Vulnerable Indigenous Land in the Brazilian Amazon and Fire-Driven Emissions of Fine Particulate Aerosol Pollutants. **Forests**, 11(8), 829.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). **Monitoramento por satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 24/01/2021.

Esquerdo, J. C. D. M., Antunes, J. F. G., Coutinho, A. C., Speranza, E. A., Kondo, A. A., & dos Santos, J. L. (2020). Satveg: A web-based tool for visualization of MODIS vegetation indices in South America. **Computers and Electronics in Agriculture**, 175, 105516.

Ferreira, G. H. C. **Regularização Fundiária no Parque Nacional da Serra da Canastra e a Expropriação Camponesa: da Baioneta à Ponta da Caneta**. (2013). Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Ferreira, G. H. C., & da Silva, L. A. P. (2019). Uso e Ocupação da Terra no Parque Nacional da Serra da Canastra: uma Análise a Partir da Regularização Fundiária. **Revista do Departamento de Geografia**, 37, 1-14.

Fitzpatrick-Lins, K. (1981). Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 47(3), 343–351.

Food and Agricultural Organization - FAO. 2016. **Map accuracy assessment and area estimation**. A practical guide. National forest monitoring assessment working paper No.46/E. Rome.

Gao, B. (1996). NDWI: a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water space. **Remote Sensing of Environment**, 266(58), 257-266.

Guerrero, J. V., Escobar-Silva, E. V., Chaves, M. E., Mataveli, G. A., Bourscheidt, V., de Oliveira, G., Picoli, M. C. A., Shimabukuro, Y. E., & Moschini, L. E. (2020a). Assessing Land Use and Land Cover Changes in the Direct Influence Zone of the Braço Norte Hydropower Complex, Brazilian Amazonia. **Forests**, 11(9), 988.

Guerrero, J. V. R., Moschini, L. E., Chaves, M. E. D., Mataveli, G. A. V., Morato, R. G., & Kawakubo, F. S. (2020b). Abordagem GEOBIA para a análise da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal no município de Brotas-SP, Brasil. **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, (26), 21-41.

Hay, G. J., Castilla, G. (2008). Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline? In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. (editors). **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-driven Remote Sensing Applications**, SpringerVerlag, Cap. 1.4, 81- 92.

Huete, A. R. (1988). A soil adjusted vegetation index – SAVI. **Remote Sensing of Environment**, 25, 295-309.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Parque Nacional da Serra da Canastra**: Plano de Manejo. Brasília, Ministério do Meio Ambiente/IBAMA, 2005, 828p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário** 2006. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/comparamun/compara.php?lang=&coduf=31&idtema=3&codv=v73&search=minas-gerais%257Csaoroque-de-minas%257Csintese-das-informacoes-2006>>. Acesso em: 18/02/2021.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2005). **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra**, Brasília, 2005, 799 p.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2020). **Parna da Serra da Canastra**. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2090-parna-da-serra-da-canastra>>. Acesso em: 23/12/2020.

Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(3), 159-179.

Mataveli, G. A. V., Guerrero, J. V. R., Chaves, M. E. D., Justino, R. C., Kawakubo, F. S., & Morato, R. G. (2018). O Programa Conservador das Águas e sua Relação com o Uso da Terra em Extrema-MG. **Revista do Departamento de Geografia**, 36, 130-140.

Mataveli, G. A. V., Silva, M. E. S., Pereira, G., da Silva Cardozo, F., Kawakubo, F. S., Bertani, G., Costa, J. C., Ramos, R. de C., & Silva, V. V. da. (2018). Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 18(1), 125.

Mataveli, G. A., Pereira, G., Chaves, M. E., Cardozo, F. D. S., Stark, S. C., Shimabukuro, Y. E., Aragão, L. E. O. e C. de, Oliveira, G., & Chen, J. M. (2021). Deforestation and land use and land cover changes in protected areas of the Brazilian Cerrado: impacts on the fire-driven emissions of fine particulate aerosols pollutants. **Remote Sensing Letters**, 12(1), 79-92.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2015). Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado/projeto-terraclass.html>>. Acesso em: 23/12/2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2020). **O Bioma Cerrado**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 23/12/2020.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 6772(403), 853-858.

Mistry, J. (1998). Fire in the savannas of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography**, 22, 425e448.

Olofsson, P., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, 148, 42–57.

Peña-Barragan, J. M., Ngugi, M. K., Plant, R. E., & Six, J. (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. **Remote Sensing of Environment**, 115, 1301-1316.

Picoli, M. C., Simoes, R., Chaves, M., Santos, L. A., Sanchez, A., Soares, A., Ferreira, K., & Queiroz, G. R. (2020). CBERS data cube: a powerful technology for mapping and monitoring Brazilian biomes. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 3, 533-539.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**. [S.l.]: NASA, 309-317.

Santos, A. A., & Machado, M. M. (2015). Análise da fragmentação da paisagem do parque nacional da serra da canastra e de sua zona de amortecimento - MG. **RA'EGA: o Espaço Geográfico em Análise**, 33, 75-93.

Strassburg, B.B.N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A.E., Oliveira Filho, F.J.B., Scaramuzza, C.A.M., Scarano, F.R., Soares-Filho, B., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, 1, 1-3.

Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., & Peña, J. M. (2015). An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, 114, 43-52.

Toure, S., Stow, D., Shih, H. C., Coulter, L., Weeks, J., Engstrom, R., & Sandborn, A. (2016). An object-based temporal inversion approach to urban land use change analysis. **Remote Sensing Letters**, 7(5), 503-512.

Vapnik, V.N. (1995). **The nature of statistical learning theory**. 2. ed. New York: Springer-Verlag. 332p.

Watkins, B., & van Niekerk, A. (2019). A comparison of object-based image analysis approaches for field boundary delineation using multi-temporal Sentinel-2 imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, 158, 294-302.

Witten, I. H., Frank, E., & Mark A. H. (2011). Data Mining: **Practical Machine Learning Tools and Techniques**. 2. ed. Elsevier, 629.