Mercator, Fortaleza, v.18 , e18026, 2019. ISSN:1984-2201

PREDIÇÃO DE CENÁRIO FUTURO UTILIZANDO AUTÔMATOS CELULARES E CADEIAS DE MARKOV EM ÁREA DE EXPANSÃO DA SILVICULTURA SOBRE O CERRADO BRASILEIRO

https://doi.org/10.4215/rm2019.e18026

Erivelton Pereira Vick [a*] - Vitor Matheus Bacani [b]

(a) Doutorando em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2005-5765. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/6467588782615177.
(b) Dr em Geografia. Professor Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas (MS), Brasil.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8650-0780. **LATTES:**
http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4771776Z2.

Article history:
Received 1 September, 2019
Accepted 14 September, 2019
Publisher 15 September, 2019

(*) CORRESPONDING AUTHOR
Address: UFMS, Av.Cap.Olinto Mancini, 1662, CEP: 79115898, Três Lagoas, (MS), Brasil. Cel.:(+55 18) 99641-1221.
E-mail: E-mail: eriveltonp.vick@gmail.com

Resumo

Os modelos preditivos para detecção de mudanças na paisagem tem sido utilizados como instrumento relevante de aporte ao planejamento e análise ambiental. Diversos modelos para simulação de cenários futuros coexistem na literatura, contudo o método que combina as Cadeias de Markov com os autômatos celulares tem demonstrado resultados excelentes de calibração/validação para simulação de mudanças no uso e cobertura da terra. Adotou-se como objeto de estudo a bacia hidrográfica do Rio Pântano, situada em área do Cerrado brasileiro, impactada por grandes projetos: hidrelétrico e pelas maiores indústrias de papel e celulose do mundo. O objetivo deste trabalho foi simular as mudanças no uso e cobertura da terra para o ano de 2050, avaliando espacialmente o efeito da expansão da silvicultura em área de Cerrado sobre os diferentes graus de fragilidade potencial natural. Para predição do cenário futuro utilizou-se do método Cadeias de Markov e autômatos celulares acoplados a análise multicritério através da lógica AHP. Os resultados de validação do modelo apresentaram excelentes resultados (índice Kappa superior a 0.9) para realizar predições para 2050, após a combinação das seguintes variáveis explicativas utilizadas no processo de calibração: I: Áreas de transição entre as classes Pastagem e Eucalipto; II: Tamanho das propriedades rurais; III: Distância das Estradas; IV: Distância das redes de drenagem.

Palavras-chave: Palavras-Chaves: Modelagem dinâmica, Bacia Hidrográfica, SIG, Geotecnologias.

Abstract / Resumen

FUTURE SCENARIO PREDICTION USING CELLULAR AUTOMATA AND MARKOV CHAIN IN EXPANSION AREA OF FORESTRY OVER BRAZILIAN CERRADO

Predictive models for the detection landscape change have been widely-used as an important tool for environmental planning and analysis. Several different models for the simulation of future scenarios are available, although the approach that combines Markov Chains with cellular automata has been shown to produce results with excellent calibration and validation for the simulation of changes in land use and cover. The present study focused on the hydrographic basin of the Pântano River, located in the Brazilian Cerrado savanna, which has been impacted by a number of major projects, including a hydroelectric dam, and the world's largest paper and pulp industries. The study simulated the changes in land cover and use for the year 2050, evaluating the spatial effects of the expansion of forestry into the Cerrado in the context of its different degrees of natural potential fragility. To predict the future scenario, the cellular automata Markov Chain method was combined with a multicriteria analysis using AHP logic. The model validation indicated excellent results (Kappa index greater than 0.9) for the predictions of the 2050 scenario. The analysis identified the following explanatory variables used in the calibration process: I: Transition areas between the pasture and eucalyptus classes; II: The size of rural properties; III: Distance to roads; IV: Distance to drainage networks.

Keywords: Dynamic modeling, Watershed, GIS, Geotechnologies.

PREDICCIÓN DEL ESCENARIO FUTURO UTILIZANDO AUTOMÁTICOS Y CADENAS MÓVILES MARKOV EN EL ÁREA DE EXPANSIÓN FORESTAL SOBRE EL CERRADO BRASILEÑO

Los modelos predictivos para la detección de cambios en el paisaje son utilizados como instrumentos relevantes para la planificación y el análisis ambiental. Varios modelos de simulación de escenarios futuros existen en la literatura, sin embargo, el método que combina las Cadenas de Markov con los Autómatas Celulares ha mostrado excelentes resultados de calibración/validación para la simulación del cambio del uso y la cobertura de la tierra. El objeto de estudio fue la cuenca del río Pantano, ubicada en el Bioma de Cerrado, y que ha sido impactada por grandes proyectos: hidroeléctricos y el establecimiento de fabricas para la producción de celulosa, de las más grandes del mundo. El objetivo de este trabajo fue simular los cambios en el uso y la cobertura de la tierra para el año 2050, evaluando espacialmente el efecto de la expansión de las plantaciones forestales (Eucalyptus) en áreas con diferentes grados de fragilidad potencial natural. Para predecir el escenario futuro, se utilizó la combinación de las Cadenas de Markov y los Autómatas Celulares apoyados en el Análisis Multicriterio utilizando la lógica AHP. Los resultados de la validación del modelo mostraron excelentes resultados (Indice de Kappa mayor de 0.9) para hacer pronósticos al año 2050, utilizando para ello las variables siguientes: I: áreas de transición entre las clases pastos y Eucalyptus; II: Tamaño de las propiedades rurales; III: Distancia al camino; IV: Distancia a las redes de drenaje.

Palabras-clave: Palabras-Claves: Modelado Dinámico, Cuenca Hidrográfica, SIG, Geotecnologías.

This is an open access article under the CC BY Creative Commons license
Copyright © 2019, Universidade Federal do Ceará

INTRODUÇÃO

O uso e cobertura da terra exerce significativa importância nas mudanças climáticas, como pode ser demonstrado através de relatório publicado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em que cerca de 23% das emissões de gases do Efeito Estufa estão relacionados ao uso antrópico, sendo derivados da Agricultura, Silvicultura e outras formas de uso da terra (IPCC, 2019).

Neste sentido, no período entre 1990 e 2005, 80% de todo desmatamento em território brasileiro se deu para a conversão destas áreas em pastagens, em que, segundo relatório divulgado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), apresentando um índice superior à alguns de seus vizinhos, como Argentina (45%) e Peru (41%) (FAO, 2016). Associado diretamente as mudanças no uso e cobertura da terra está a conservação dos solos, que sofre com diversos processos de degradação como erosão, compactação, dentre outros, sendo perdidos deste recurso cerca de 25 a 40 bilhões de toneladas ao ano, restringindo assim em muitos casos a produtividade (FAO, 2015).

Na acepção de Pertille (2018), Forman (1995) e Turetta (2011), investigar as transformações no uso e cobertura da terra pode fornecer importantes subsídios para o planejamento, tomada de decisão e avaliação de impactos, compreendendo que as mudanças são condicionadas por interações fisiográficas e fatores socioeconômicos, recebendo também influências de outros agentes que as impulsionam como políticas públicas, estrutura agrária e questões macroeconômicas.

No Cerrado brasileiro, em movimento iniciado na década de 1970, diversas áreas foram ocupadas através do processo de expansão da fronteira agrícola, aditando o Cerrado no desenvolvimento da agropecuária brasileira e a consequente degradação ambiental deste bioma, resultando em transformações acentuadas na paisagem através do desmatamento excessivo, ocasionando problemas como compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação de águas subterrâneas e perda de biodiversidade (CUNHA et al., 2008).

Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Pântano (BHRP) encontra-se localizada no Território Rural do "Bolsão", dentro do Bioma Cerrado, no Estado de Mato Grosso do sul, em que a ausência ou inadequação de ações efetivas de planeamento no uso e ocupação das terras acarretaram em diversos prejuízos para este Estado, sendo consequentes aos processos de degradação, tendo como principal agente a adoção de práticas agropecuárias inadequadas (BORLACHENCO. GONÇALVES, 2017). Assim, esta bacia sofreu diversas transformações em sua paisagem, sofrendo inicialmente a influência da instalação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira no final da década de 60. Atualmente, a região cuja área de estudo está inserida consolida-se como área de expansão para o monocultivo de eucaliptos.

Considerando os desdobramentos decorrentes das mudanças no uso e cobertura da terra em uma região que sofreu intensa degradação ao longo dos anos e hoje se concentra como polo de expansão do monocultivo de eucaliptos, compreender onde e quando as mudanças no uso e cobertura da terra irão acontecer é o foco central deste trabalho, objetivando a aplicação do modelo que combina autômatos celulares com as Cadeias de Markov (CA-Markov) acoplados à análise multicritério para predição de um cenário futuro para o uso e cobertura da terra.

Diversos trabalho tem empregado com êxito a técnica CA-Markov para predição das mudanças no uso e cobertura da terra (KAMUSOKO et al., 2009; HALMY et al., 2015; MONDAL et al., 2016; GASHAW et al., 2018; FU et al. 2019), entretanto, há uma carência na literatura especializada acerca de estudos que analisam a expansão da silvicultura, relacionando suas consequências aos diferentes graus de fragilidade dos ambientes naturais (ROSS, 1994; ROSS, 2012) em áreas de Cerrado. Desse modo, o objetivo central deste trabalho foi avaliar espacialmente o efeito da expansão da silvicultura sobre os diferentes graus de fragilidade potencial natural da BHRP tendo como base a simulação das mudanças no uso e cobertura da terra para o ano de 2050 usando o método CA-MARKOV e análise multicritério.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pântano (BHRP) tem uma área de 1349 km², com declividade média de 5,72% e altitudes entre 300 e 549 metros, localizada dentro dos limites territoriais dos municípios de Selviria, Aparecida do Taboado e Inocência no Estado de Mato Grosso do Sul, como apresentado na Figura 1. Os municípios inseridos na BHRP têm como principal atividade econômica a bovinocultura de

corte, sucedendo-se nos últimos anos à diversificação, com destaque às indústrias de celulose implantadas no município de Três Lagoas (MELO; SILVA, 2016), que acarretou na expansão do cultivo de eucaliptos nestes municípios, enquanto que Aparecida do Taboado e Paranaíba desenvolveu-se o setor sucroalcooleiro.

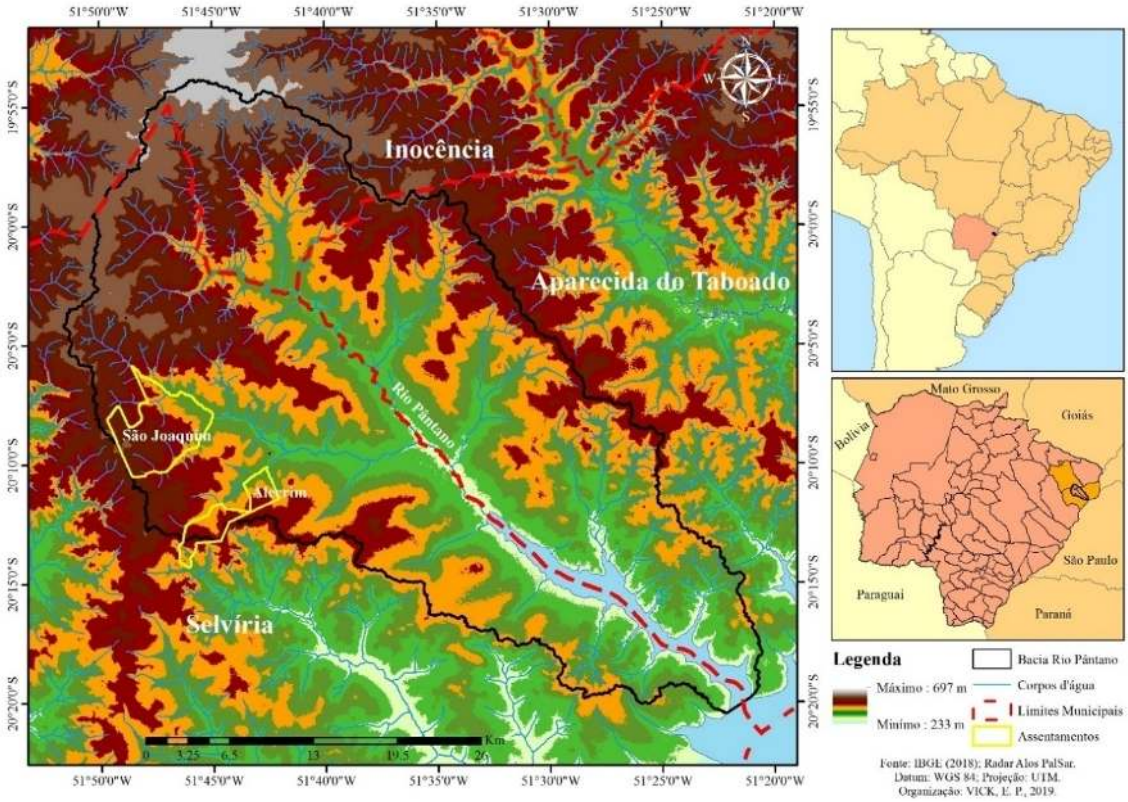

Figura 1- Localização da BHRP.

As Formações geológicas presentes na BHRP são do Grupo Caiuá, Formação Santo Anastácio e Grupo Bauru, Formação Vale do Rio do Peixe (DA SILVA, et al., 2014; FERNANDES, COIMBRA, 2000). As formas de relevo são: Pediplano Degradado Inumado (modelo de aplanamento); Planície e Terraço Fluvial, Terraço Fluvial (modelo de acumulação); Topo Convexo – Dissecação Homogênea ou Diferencial, Topo Tabular – Dissecação Homogênea ou Diferencial (modelo de dissecação) (BRASIL, 1980, 1983). Os solos da BHRP ocupam as seguintes áreas: Latossolos Vermelhos Distróficos (321,9 km), Argissolo Vermelho Distrófico (154,7 km²) e Argissolo Vermelho-Amarelo (47,9 km²), e Planossolo (47,6 km²), (MACROZONEAMENTO GEOAMBIENTAL, 1989).

O clima da região pode ser classificado como tropical, com precipitação média anual de 1.445 mm, alternando entre períodos secos e úmidos, onde evidencia-se a massa tropical atlântica, com chuvas concentradas na primavera-verão e o período seco bem definido (ZAVATINNI, 2009).

METODOLOGIA

A Figura-2 demonstra os procedimentos metodológicos adotados para a construção do modelo CA Markov de simulação de cenário futuro de mudanças no uso e cobertura da terra para BHRP. Para realização de tal procedimento foram adotadas as seguintes etapas: i) Pré-Processamento das Imagens; ii) Segmentação; iii) Classificação; iv) Validação; v) Modelo Preditivo de mudanças no uso e cobertura da terra.

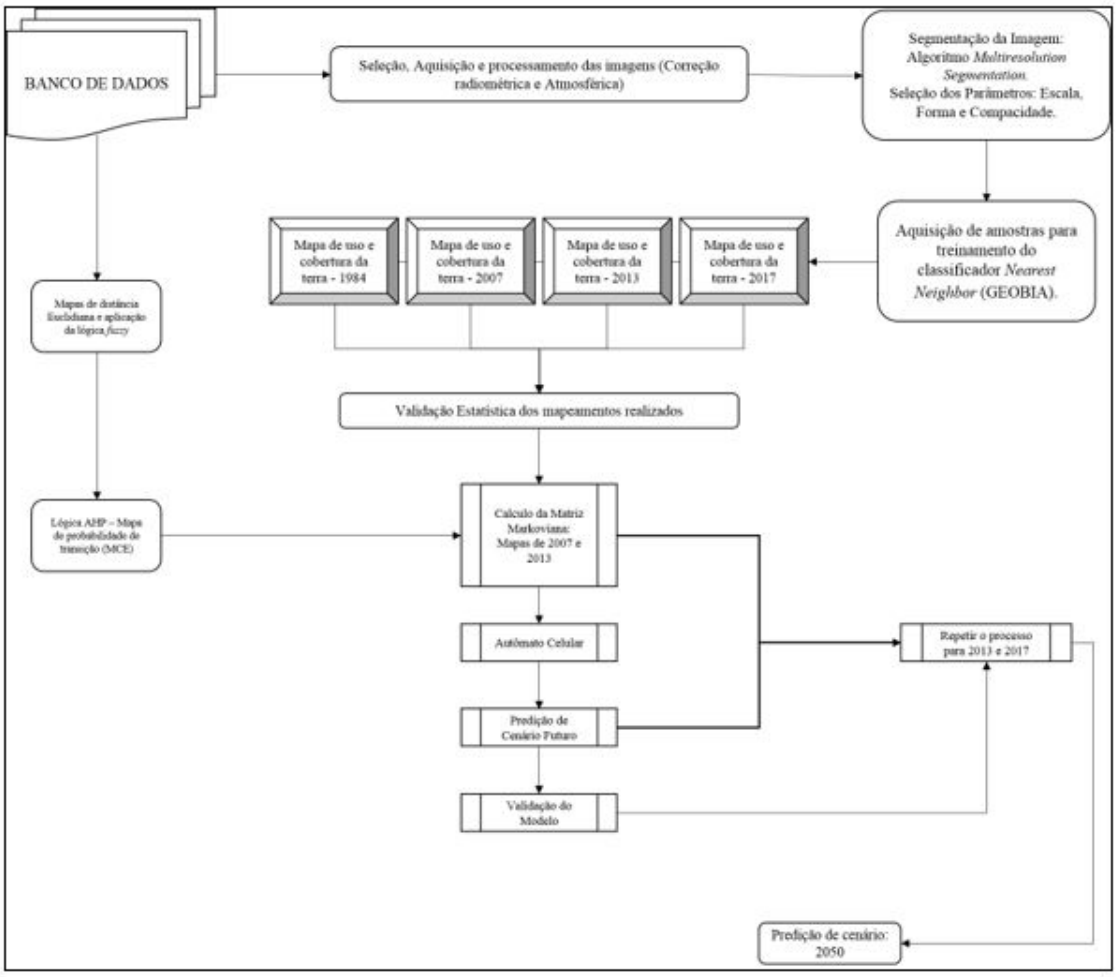

Figura 2 - Roteiro Metodológico para aplicação do Método CA-Markov.

Processamento Digital de Imagem

Aplicou-se o método GEOBIA (*Geographic Object-Based Image Analysis*) (BLASCHKE, et al., 2014) para classificação do uso e cobertura da terra para BHRP utilizando imagens da série temporal Landsat, sensores TM e OLI, através do *software* eCognition 9.2® (DELFINS, 2012), sendo as imagens datadas de 11/07/1984; 12/08/2007; 27/07/2013; 28/07/2017. Esta abordagem demonstra ampla capacidade em obter-se resultados excelentes no processo de classificação do uso e cobertura da terra quando comparados a classificadores *pixel* a *pixel*, mesmo empregando-se imagens de média resolução espacial (PLATT; RAPOSA, 2008; BENZ et al., 2004).

Pré-Processamento

A etapa de pré-processamento digital das imagens (MOREIRA, 2007) foi realizada no *software* ENVI, versão 5.3®. Realizou-se primeiro a etapa de correção radiométrica, que serviu como *input* para correção atmosférica, utilizando-se o módulo de correção FLAASH (*Fast Line-of-sigh Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), que é um módulo de correção atmosférica baseado no algoritmo MODTRAN4 (KRUSE, 2004; ARIAS et al., 2014).

Segmentação – Multiresolution Segmentation

Empregou-se o algoritmo "*Multiresolution Segmentation*", sendo este o de utilização mais popular para a classificação GEOBIA (BAATZ; SCHAPE, 2000). O processo de segmentação recebe

influência direta de três parâmetros, sendo eles: Escala (*Scale Parameter*), Forma (*Shape*) e Cor/Compacidade (*Compactness*), estando o parâmetro escala definido pelo operador, influenciado pela heterogeneidade dos *pixels*; parâmetro cor/compacidade equilibra a homogeneidade entre a cor e a forma do segmento e por fim, o parâmetro forma equilibra simultaneamente os critérios de suavidade da borda e compacidade de objeto (WILLHAUCK et al., 2000; WHITESIDE; AHMAD, 2005). A Tabela 1 apresenta os valores de Escala, Forma e Cor/Compacidade que foram adquiridos através do método "*Trial and Error*".

ANO – IMAGENS	ESCALA	FORMA	COMPACIDADE
1984	0.4	0.003	0.5
2007	0.3	0.0004	0.5
2013	0.3	0.0002	0.2
2017	0.4	0.0002	0.2

Tabela 1 - Valores aplicados ao processo de segmentação das imagens.

Classificação – Nearest Neighbor

O algoritmo empregado para realização da classificação foi o *Nearest Neighbor* (NN), que apresenta bons resultados com imagens Landsat (SMITS et al., 1999), além de ser utilizado em diversos trabalhos da GEOBIA decorrente a sua simplicidade e flexibilidade (LI et al., 2016). Além da informação espectral das amostras selecionadas para cada classe de uso da terra e cobertura vegetal a serem mapeadas o classificador NN permite que o usuário possa definir estatísticas como forma, desvio padrão das bandas, dentre outras para auxílio na classificação. O tabela 2 apresenta os parâmetros aplicados ao classificador NN.

CARACTERÍSTICAS DO OBJETO	CARACTERÍSTICAS UTILIZADAS
Customizado	NDVI e NDWI
Valores de Layer	Média Espectral das bandas e desvio padrão das bandas
Geometria	Extensão dos objetos (Áreas; Comprimento de Borda; Comprimento/Espessura; Comprimento/Largura; Número de pixels); Forma

Tabela 2 - Parâmetros aplicados ao classificador NN.

Classes Temáticas de uso e cobertura da terra

A definição das classes temáticas do mapeamento de uso e cobertura da terra fundamentaram-se no Projeto GeoMS (SILVA, et al. 2011) e no Manual técnico (IBGE, 2012), categorizadas segundo a tabela 3.

1984	2007	2013	2017
AUSENTE	**AUSENTE**	Agricultura	Agricultura
Água	Água	Água	Água
AUSENTE	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
AUSENTE	Eucalipto	Eucalipto	Eucalipto
Pastagem	Pastagem	Pastagem	Pastagem
Savana Arborizada	Savana Arborizada	Savana Arborizada	Savana Arborizada
Savana Gramíneo-Lenhosa	Savana Gramíneo-Lenhosa	Savana Gramíneo-Lenhosa	Savana Gramíneo-Lenhosa
Savana Florestada	Savana Florestada	Savana Florestada	Savana Florestada
AUSENTE	**AUSENTE**	Seringueira	Seringueira
Solo Exposto	Solo Exposto	Solo Exposto	Solo Exposto
Vegetação Ciliar	Vegetação Ciliar	Vegetação Ciliar	Vegetação Ciliar

Tabela 3 - Classes temáticas mapeadas para BHRP.

Com a finalidade de reduzir a complexidade do modelo durante a etapa de calibração e simulação, reduziu-se o número de classes, conforme o tabela 4.

Classes utilizadas no mapeamento das mudanças do uso e cobertura da terra	Classes utilizadas na simulação
Água	Água
Agricultura	Agricultura
Cana-de-açúcar	
Pastagem	Pastagem
Savana Arborizada	Vegetação Natural
Savana Gramíneo-Lenhosa	
Savana Florestada	
Vegetação Ciliar	
Eucalipto	Silvicultura
Seringueira	
Solo Exposto	Solo Exposto

Tabela 4 - Classes utilizadas na simulação de cenário futuro para o ano de 2050.

Validação Estatística: Acurácia Global e Estatística Kappa

Para verificação da acurácia dos mapeamentos foi criado um arquivo em formato *shapefile* contendo 300 pontos de verdade terrestre, sendo deles adquiridos 70 pontos através de saídas de campo e o restante através do emprego de imagens de alta resolução disponíveis na plataforma gratuita Google Earth Pro (SULLIVAN, 2009). Diversos métodos para avaliação de precisão são consagrados na literatura, sendo os decorrentes da utilização da matriz de confusão os mais promovidos, tais como a exatidão Global (CONGALTON, 1991) e o índice *Kappa* (FOODY, 2002) com parâmetros de qualificação definidos em Landis e Koch (1977), aplicados neste trabalho.

Modelo CA Markov para simulação de uso e cobertura da terra

As cadeias de Markov permitem a construção de um modelo empírico muito eficiente em realizar predições, descrevendo processos estocásticos (PEDROSA; CÂMARA, 2004; PONTIUS; MALANSON, 2005), sendo denotado por: $\Pi(t+1) = P^n.\Pi(t)$.

Onde $\prod(t)$ é o estado do sistema no tempo t, $\prod(t+1)$ é o estado do sistema após o intervalo t+1 e P^n e são estados que podem acontecer, aos quais são representados em uma matriz de transição. O

estado futuro do sistema depende apenas do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independentes da trajetória que os levou ao estado atual, assim chamado de Cadeia de Markov de 1ª ordem (PEDROSA; CÂMARA, 2004).

A predição de um cenário futuro de uso e cobertura da terra para BHRP foi procedido através do modelo CA Markov no *software* TerrSet (*Geospatial Monitoring and Modeling Software*) objetivando a simulação da expansão de áreas de cultivo de eucaliptos, divido em cinco etapas, conforme evidenciado por Mitsova et al. (2011) e Bacani et al. (2016).

1ª Etapa: O primeiro procedimento adotado consistiu na construção de uma matriz de probabilidade de transição Markoviana para cada uma das classes de uso e cobertura da terra para os anos de 2007 e 2013, ao qual serviu de entrada para o processo de modelagem de mudanças. As Cadeias de Markov são um processo estocástico ao qual a saída desse modelo é baseada na probabilidade de mudanças, Pij, entre as classes de cobertura da terra (i e j). Portanto, na composição de uma paisagem com diferentes usos e coberturas, a probabilidade de transição Pij seria a probabilidade de que uma classe de cobertura da terra i (*pixel*) no tempo t0 mude para o tipo de uso da terra j no tempo t1, conforme descrito na Equação 1:

Equação 1:$\Sigma pij= 1$ i= 1,2, ..., m.

As probabilidades de transição são estimadas através da análise de elementos de transição (pixel) durante um intervalo de tempo específico. A representação dessas probabilidades é expressa através da matriz *P* (ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012).

(Vi x Pij) = (V1,V2,V3,...,Vn) X (P11, P12, P13, P21, P22, P23, Pm1, Pm2, ...P1m ...P2m...Pmn)

Onde Pijé a proporção de cobertura da terra para a segunda data (no caso desse trabalho para o ano de 2013); *Pij*é a matriz de probabilidade de transição de cobertura da terra; V*i* é a proporção de cobertura da terra da primeira data (para este trabalho é o ano de 2007);*i* representa o tipo de cobertura da terra na primeira data; *j* representa o tipo de cobertura da terra na segunda data; *P11* é a probabilidade de que a cobertura da terra 1 na primeira data (2007) mudará para a cobertura da terra 1 para a segunda data (2013); *P12* é a probabilidade de que a cobertura da terra 1 na primeira data (2007) mude para a cobertura da terra 2 para a segunda data (2013), sendo assim por diante; *m* é o número de coberturas da terra para a área de estudo.

Ocorre, entretanto uma limitação através da utilização da cadeia de Markov. Embora os resultados que são produzidos através da matriz de probabilidade de transição ou matriz markoviana permitam prever o futuro da cobertura da terra para um tempo t2, limita-se essa etapa a não indicação de onde essas mudanças podem ocorrer (ADHIKARI; SOUTHWORTH, 2012).

2ª Etapa: Confecção de mapas de adequação e localização de mudanças, já que como mencionado na etapa anterior, o processo de Markov não estabelece onde as transições de uso da terra ocorrem. Neste contexto, utilizou-se para confecção dos mapas de adequação, técnicas de avaliação multicritérios (MCE – *Multi Criteria Evalution*) através da lógica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e funções de associação fuzzy (EASTMAN, 1999; HE et al., 2013; MOGDHADAM, HELBICH, 2013), podendo ser denominados como agentes modificadores que auxiliam a explicar as áreas com tendências de expansão ao cultivo de eucaliptos. Desta forma, na tentativa de delimitar áreas com maior probabilidade ao plantio de eucalipto foram utilizadas as seguintes variáveis explicativas: Áreas de transição entre as classes de Pastagem e Eucalipto entre os anos de 2007 e 2013; Distância da rede de drenagem; Distância das vias de acesso; Tamanho das propriedades (Figura 3).

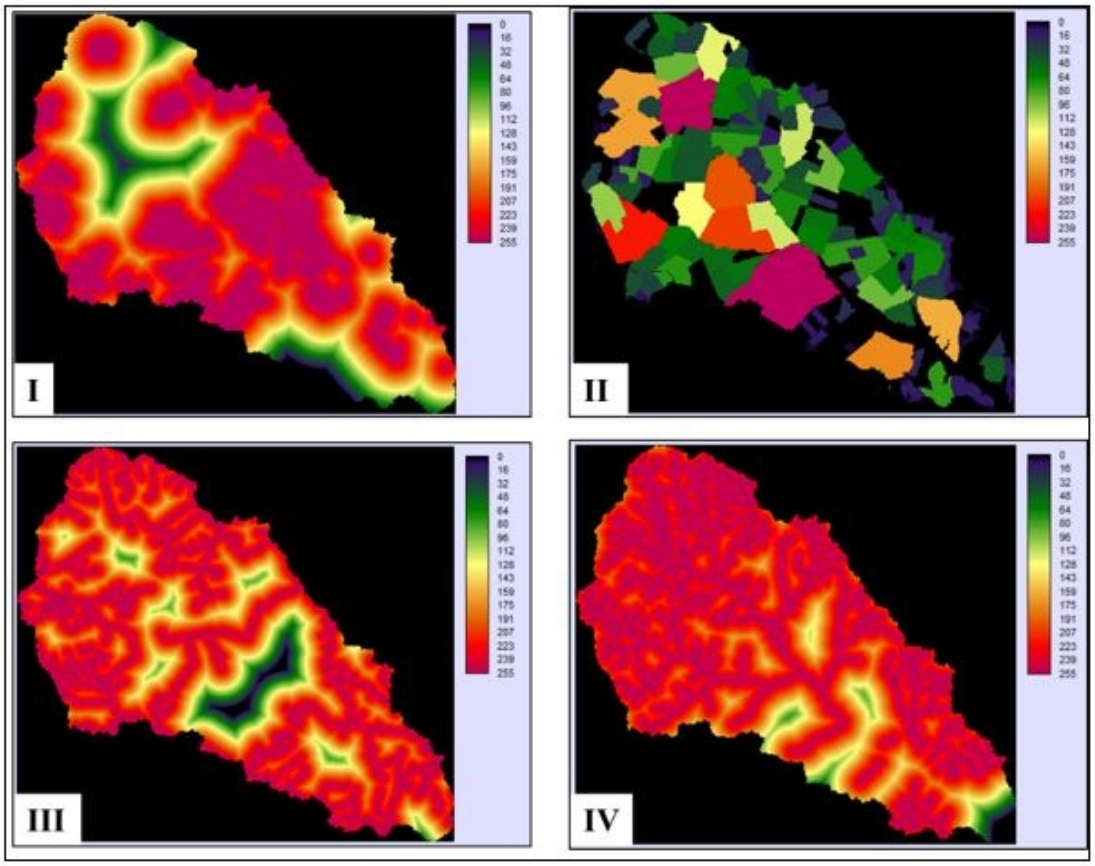

Figura 3 - Representação das variáveis de adequação a probabilidade de transição da classe Silvicultura. I: Áreas de transição entre as classes Pastagem e Eucalipto; II: Tamanho das propriedades na BHRP; III: Classificação fuzzy para estradas na BHRP; IV: Classificação fuzzy para distância as redes de drenagem.

3ª Etapa: Realizou-se o acoplamento dos mapas de adequação juntamente com a matriz de transição markoviana para determinar os filtros de AC. Assim, adotou-se o número de iterações 4 para a simulação do ano futuro (2013 a 2017). Por fim, adotou-se o filtro de contiguidade 5x5 para os AC, ao qual este é o padrão adotado usualmente.

4ª Etapa: Teste de calibração do modelo. Para calibração dos modelos de mudanças na cobertura da terra é necessário uma série de mapas confiáveis e coerentes (BACANI et al., 2016) aos quais foram utilizados como base de dados para 2017. Portanto, o ano de 2017 foi simulado tendo como base o mapeamento realizado para 2007 e 2013. Utilizou-se no TerrSet a ferramenta ERRMAT, a qual compara duas imagens para fins de avaliação de precisão, sendo eles o mapeamento para o ano de 2017 e o simulado para o mesmo ano.

5ª Etapa: O último passo, depois de calibrado o modelo, foi a determinação do número de iterações para projeção de tendências futuras. Como ponto de partida utilizou-se do mapa de cobertura da terra para o ano de 2017 selecionando 33 iterações.

Fragilidade Potencial

A elaboração da Fragilidade Potencial fundamentou-se nas propostas de Ross (1994), Ross (2012) e Crepani et al. (2001). Foi realizado no *software* ArcGis 10.6® a combinação das variáveis Solos, Declividade, Áreas Prioritárias a Conservação da Biodiversidade, Intensidade Pluviométrica e Planície Fluvial através do método de sobreposição ponderada via álgebra de mapas, adotando-se pesos que vão dos valores de 1 a 5 e representam os respectivos graus de fragilidade do ambiente: 1) Muito baixa fragilidade; 2) Baixa fragilidade; 3) Média fragilidade; 4) Alta fragilidade; 5) Muito alta fragilidade.

Solos: Utilizou-se para esta variável o mapeamento de recursos naturais do Brasil (IBGE, 2018), em escala de 1:250.000, através folhas SE.22 e SF.22. Os arquivos em formato shapefile foram importados para o software ArcGis 10.6. Estes arquivos foram transformados para o formato raster e reclassificados atribuindo-se pesos para os respectivos tipos de solos como apresentado na Tabela 5.

Tipo	Peso
Corpos d'água	-
LEa11 - Latossolo Vermelho-Escuro – álico textura média	1
LEa22 - Latossolo Vermelho-Escuro – álico textura média	1
LEa4 - Latossolo Vermelho-Escuro – álico e distrófico textura média	1
LEa9 - Latossolo Vermelho-Escuro – álico textura média	1
LRd4 – Latossolo Roxo álico	1
PEd1 - Argissolo Vermelho-Escuro distrófico	3
PEd3 - Argissolo Vermelho-Escuro distrófico	3
PVa2 – Argissolo Vermelho-Amarelo álico	3
PLa3 – Planossolo Eutrófico	4

Tabela 5 - Solos e Pesos para BHRP

Declividade: A declividade foi gerada no software ArcGIS 10.6®, através de imagens do Radar Alos PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros. Foi realizado o mosaico das imagens que recobrem a área de estudo e posteriormente gerou-se a declividade através da ferramenta Slope, adotando-se os intervalos entre as classes pautados na proposta de Ross (1994). A Tabela 6 apresenta o intervalos de declividade adotados neste trabalho, bem como suas respectivas fragilidades.

DECLIVIDADE

Classes	Peso	Fragilidade
0 - 6%	1	Muito Fraca
6 - 12%	2	Fraca
12 - 20%	3	Média
20 - 30%	4	Forte
>30%	5	Muito Forte

Tabela 6 - Classes de Declividade

Fonte:Ross (1994).

Áreas Prioritárias a Conservação da Biodiversidade: Foram utilizadas as Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade 1ª atualização (BRASIL, 2005), classificadas como muito alta importância, recebendo peso 4.

Intensidade Pluviométrica: Utilizou-se dos dados pluviométricos obtidos do portal do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) (PINTO et al., 2011), disponíveis em isoietas que representam a precipitação média anual (mm), como uma série de quase 30 anos de dados (1977 a 2006). Na proposta de Ross (1994) é apresentada a importância das chuvas, entretanto ele não atribui pesos para esta variável. Desta forma, utilizou-se da proposta de Crepani et al. (2001) para obter-se o valor da intensidade pluviométrica, sendo definido através da fórmula:

PMA/DPC = IP

onde, PMA = Precipitação Média Anual; DPC = Duração do Período Chuvoso; IP = Intensidade Pluviométrica. A tabela 7 apresenta o resultado da intensidade pluviométrica com seu respectivo peso atribuído na escala de fragilidade ambiental de Ross (1994).

Precipitação – BHRP	Intensidade Pluviométrica: Mínima e Máxima	Peso
1478,24 mm a 1515,89 mm	164,2/168,4	3*

Tabela 7 - Precipitação (mm) e Intensidade Pluviométrica

* Valor original na escala de Crepani et al. (2001) = 1,5. Valor convertido para escala de Ross por regra de três simples = 3.

Planície Fluvial: Foi delimitada pelo método de interpretação visual na escala de 1:10.000 no software ArcGIS 10.6®, utilizando o catálogo de imagens de alta resolução presente no mesmo. Em conjunto as áreas de planície, foi delimitado com muito alta fragilidade potencial as áreas de vegetação ciliar, visto a importância desta vegetação para a manutenção dos corpos hídricos e a dinâmica do

ambiente. Desta forma, adotou-se peso 5 para estas áreas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

Acurácia do mapeamento de uso e cobertura da terra

A Tabela 8 apresenta os valores referentes à Acurácia Global e o Índice Kappa do mapeamento de uso e cobertura da terra, bem como os valores de precisão ou acurácia do produtor e do usuário. O método de GEOBIA utilizado para classificação dos mapas de uso e cobertura da terra apresentaram resultados considerados excelentes, todos acima de 0,85% de concordância (LANDIS e KOCH, 1977), sobretudo se considerarmos a quantidade de classes temáticas utilizadas para categorização das diferentes fitofisionomias do Cerrado (BANKO, 1998).

	1984		**2007**		**2013**		**2017**	
	Acurácia Produtor	*Acurácia Usuário*	*Acurácia Produtor*	*Acurácia Usuário*	*Acurácia Produtor*	*Acurácia Usuário*	*Acurácia Produtor*	*Acurácia Usuário*
Agricultura	-	-	-	-	100	100	50	100
Água	72,73	100	100	69,23	66,67	100	42,86	100
Cana	-	-	100	100	100	100	100	100
Eucalipto	-	-	75	100	100	98,41	0	0
Pastagem	98,82	90,32	100	88,99	100	85,54	97,22	79,55
Savana Arb.	89,86	83,78	87,04	94	92,68	97,44	89,47	91,89
Savana Flor.	80	84,21	94,44	77,27	87,5	100	81,25	86,67
Savana Gram.	73,91	89,47	75	88,24	66,67	92,31	77,78	100
Seringueira	-	-	-	-	0	0	50	100
Solo Exposto	0	0	14,29	100	0	0	98,28	86,93
Vegetação Ciliar	94,32	95,4	92,86	100	100	88,24	96,88	98,41
Acurácia Global (%)	90		91,33		92		89,33	

Tabela 8 - Resultados da validação estatística referente aos mapeamentos de uso e coberturada terra.

Análise Multitemporal nas mudanças do uso e cobertura da terra

Pelo fato da BHRP estar inserida no Território Rural do Bolsão no estado de Mato Grosso do Sul, seu desenvolvimento é fortemente marcado pelas atividades agropastoris, com predomínio da pecuária, havendo nos últimos anos, um esforço para a diversificação econômica nesta região por meio do desenvolvimento e expansão de polos industriais (MATO GROSSO DO SUL, 2015). As mudanças no

uso e cobertura da terra para BHRP são divididas em dois períodos distintos, sendo o primeiro entre 1984 a 2007, com a substituição da vegetação natural, principalmente a vegetação de Cerrado, pela introdução da pastagem e assim consolidando o avanço da pecuária e a fragmentação das áreas de Cerrado (Figura 4), e o segundo período a partir de 2007 a 2017 alicerçado na substituição de áreas de pastagens pelo cultivo de eucalipto, sendo estas áreas destinadas em sua grande maioria a produção de celulose.

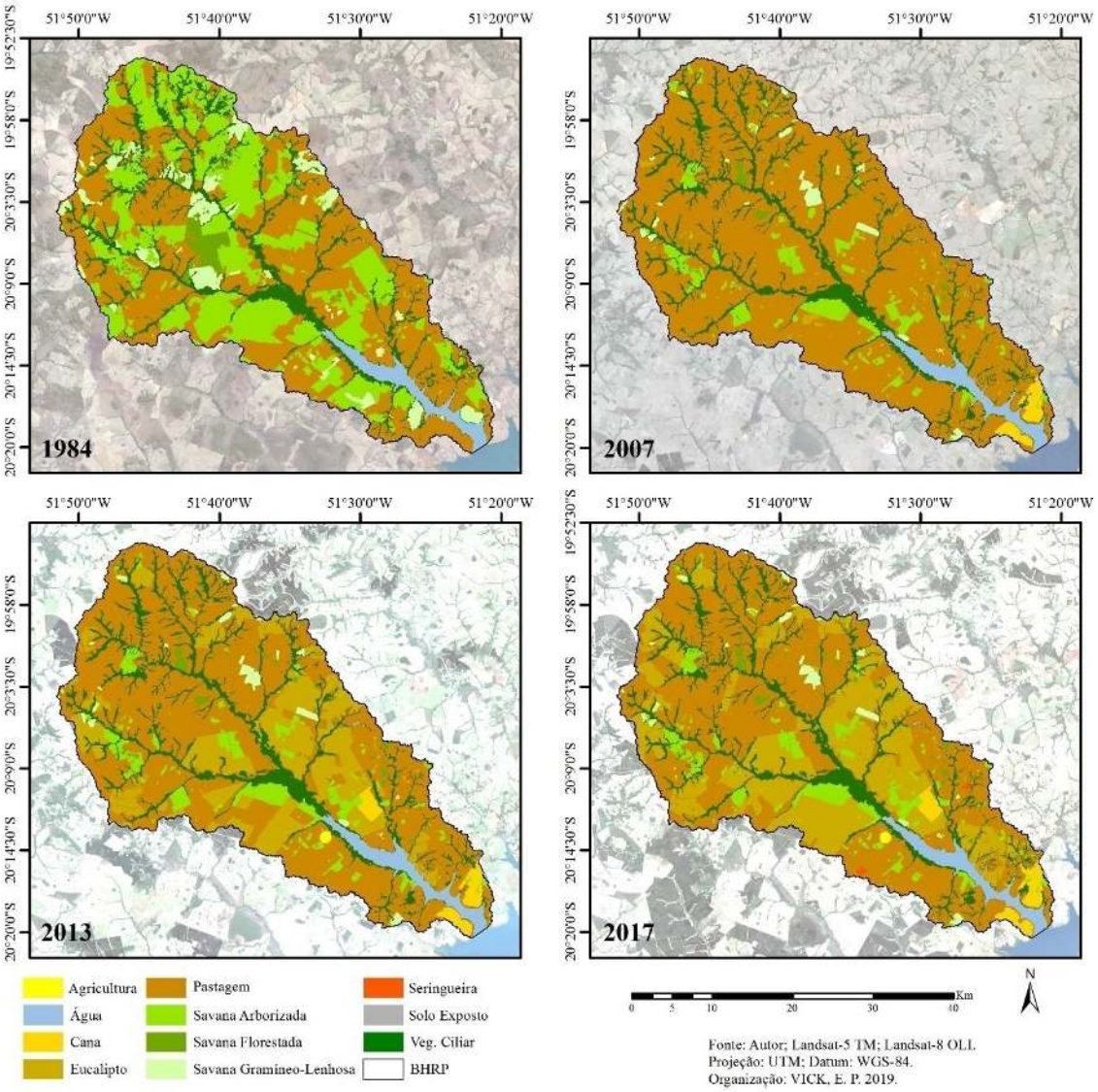

Figura 4 - Mapas de uso e cobertura da terra para a BHRP.

As mudanças no uso e cobertura da terra na BHRP e consequentemente na paisagem estão ligadas diretamente a forças motrizes econômicas que regem a dinâmica da região geográfica onde está inserida. No ano de 1984, 51% da área mapeada era preservada com sua vegetação natural (Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa e Vegetação Ciliar), ocorrendo uma total inversão deste cenário para o ano de 2017, que apresenta um total de 19,5% da área preservada com vegetação natural, transcorrendo em um período de 33 anos houve redução de 31,5%, especificamente da área de vegetação de Cerrado. Desta forma, na Figura 5 estão representados em percentuais as classes de uso e cobertura da terra mapeadas para BHRP, onde em 1984, 46% da área total da bacia era ocupada pelo uso da pastagem, chegando para o ano de 2007 a este uso ocupar cerca de 75% da área total da bacia.

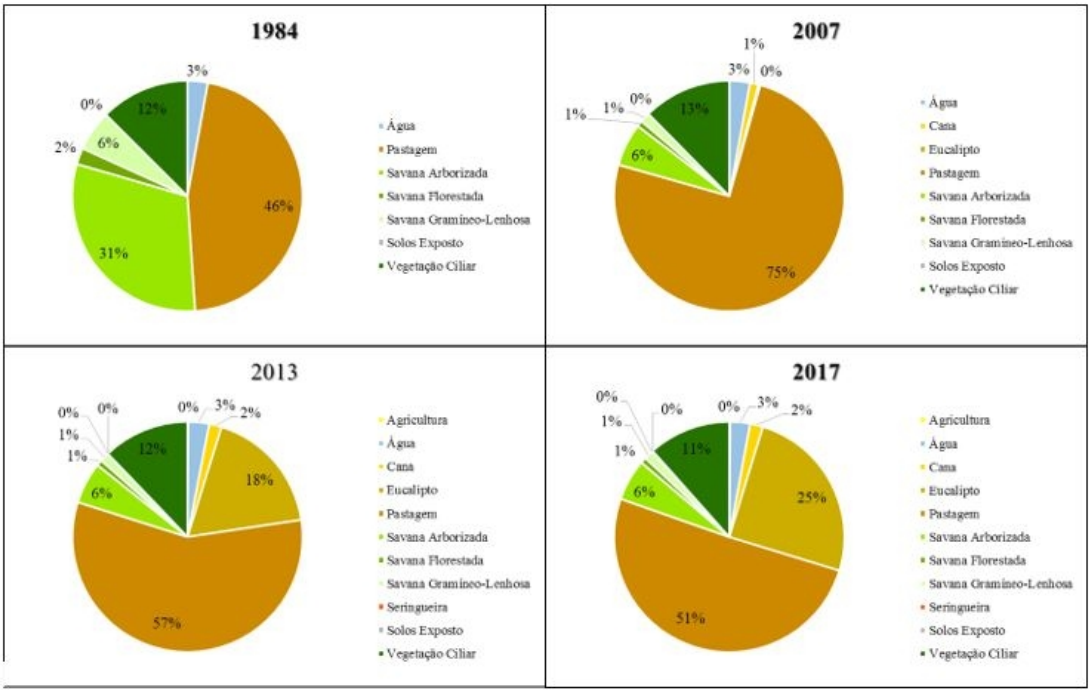

Figura 5 - Percentual de uso e cobertura da terra mapeados para BHRP.

O cenário ao longo destes 23 anos (1984-2007) foi de intensa retirada da vegetação natural, representadas no mapeamento pelas classes de Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa e Vegetação Ciliar, onde se teve a supressão do equivalente a 30,45% de vegetação natural, sendo estas áreas modificadas para o uso da pastagem. A Figura 6 apresenta as áreas que tiveram a vegetação natural suprimida e seu novo uso foi a pastagem.

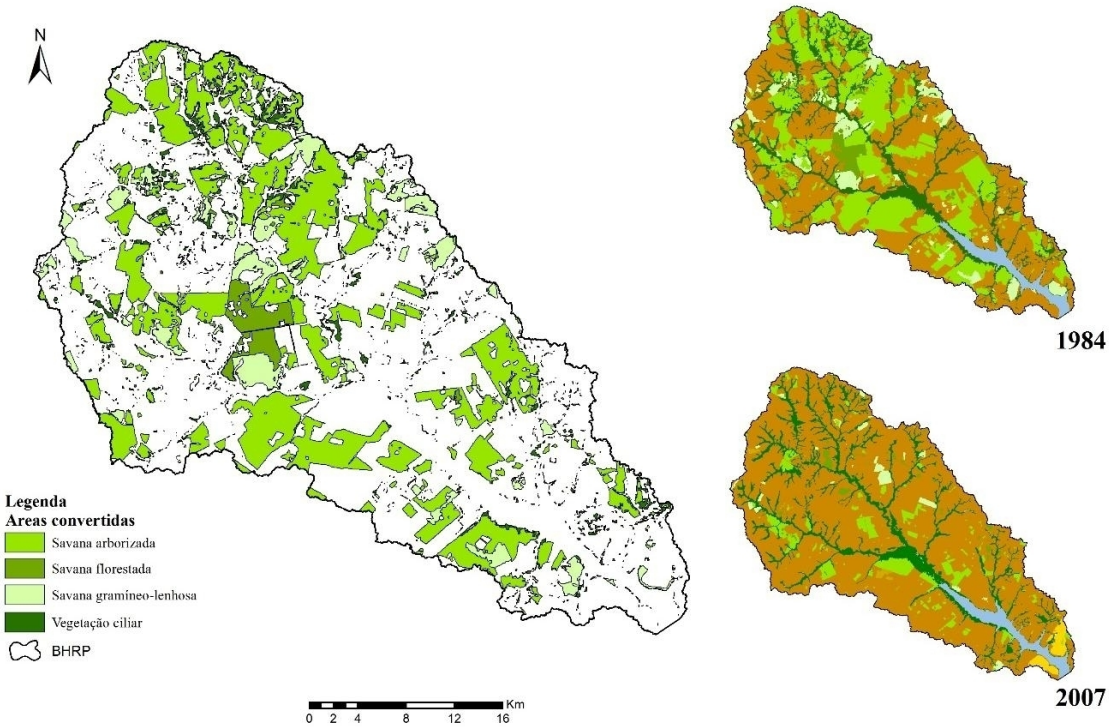

Figura 6 - Áreas de vegetação natural convertidas em pastagem dentre os anos de 1984-2007.

No ano de 2007, diferentemente do que foi mapeado para 1984, é encontrada a prática do cultivo da cana-de-açúcar, tento sua área de representatividade na BHRP aumentando nos mapeamentos seguintes, passando de 1,17% em 2007 para 1,73% em 2013 e 1,8% em 2017 da área total da bacia.

A partir do ano de 2007 inicia-se o processo de expansão das áreas plantadas com o cultivo de Eucaliptos, convertendo as áreas anteriormente ocupadas por pastagens. Desta forma, em 2007 cerca de 1% da área total mapeada era ocupada pelo cultivo de Eucalipto, enquanto 75% da área da bacia era destinada ao uso da pastagem. Em 2017 ocorre uma inversão deste cenário, no qual a pastagem passa a ocupar 50,6%, enquanto as áreas de cultivo de eucalipto passam a ocupar 25% da área total da bacia.

Fundamentado na análise multitemporal das mudanças no uso e cobertura da terra para BHRP nota-se claramente dois recortes espaços-temporais bem distintos, com o primeiro marcado entre 1984-2017 que consistiu na supressão da vegetação natural da área e sua substituição pela pastagem, voltada principalmente ao desenvolvimento da pecuária, e o segundo momento caracterizado entre 2007-2017 com o câmbio de áreas de pastagem para o cultivo de eucalipto, sendo este destinado as fábricas na confecção de papel e celulose. Assim, torna-se de extrema relevância entender através da simulação de um cenário futuro quais serão as áreas que o plantio de eucalipto tende a expandir-se considerando a fragilidade potencial (funcionamento do meio físico-natural) e ambiental (emergente) da BHRP.

Modelo de mudanças no uso e cobertura da terra

Validação do modelo: Mapeamento real x simulado

A calibração do modelo consistiu na comparação do mapa simulado para 2017 com o mapeamento real já validado para o mesmo ano. A Figura 7 apresenta a comparação visual entre o mapeamento real e simulado para o ano de 2017, sendo a comparação entre eles realizada também através da estatística *Kappa* (PONTIUS; MILIONES, 2011).

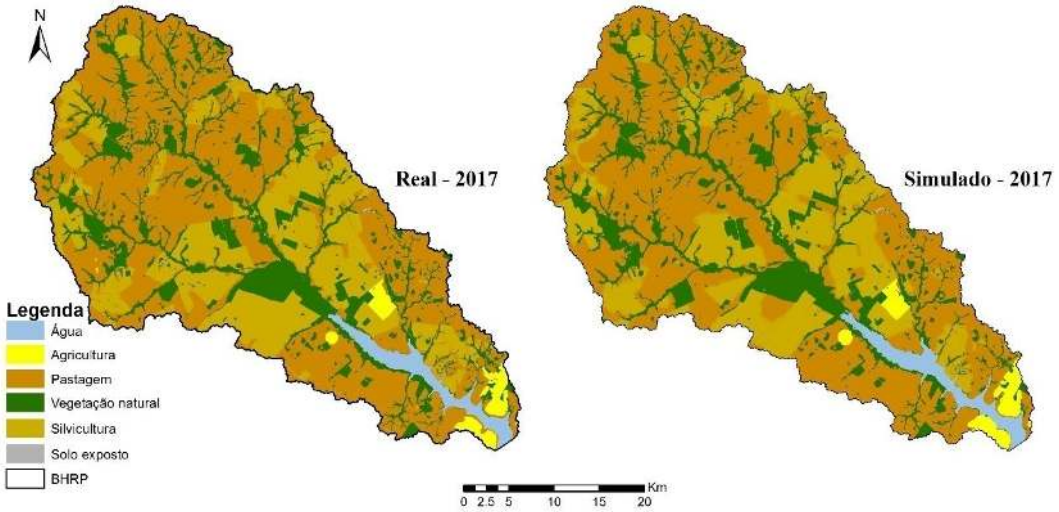

Figura 7 - Representação espacial de uso e cobertura da terra para o ano de 2017 – Real x Simulado.

Os resultados de validação do modelo (Tabela 9) apresentaram excelentes resultados, e de acordo com Araya e Cabral (2010), quando um mapa simulado comparado com um mapeamento real apresenta um valor de acurácia maior que 0.8 esse modelo tem o potencial de realizar predições.

Parâmetros – Estatística *Kappa*	Valor	Concordância
Kstandard	0.9085	Excelente
Kno	0.9290	Excelente
KlocationStrata	0.9200	Excelente

Tabela 9 - Resultado da estatística

Kappa no processo de calibração do modelo.

Desta forma, com o valor de *Kappa* padrão (*Kstandard*) maior que 0.8 o modelo a ser empregado apresenta-se como capaz de realizar a simulação de cenário futuro para BHRP.

Predição de mudança no cenário futuro

A Tabela 10 apresenta a matriz de probabilidade de transição Markoviana, demonstrando a probabilidade de uma categoria de uso e cobertura da terra mudar para outra categoria em um período futuro, onde quanto mais próximo de 1, maior é a probabilidade desta classe mudar para outra em um estado futuro ou permanecer nela mesma.

	Água	**Agricultura**	**Vegetação Natural**	**Pastagem**	**Silvicultura**	**Solo Exposto**
Água	0.5998	0.0035	0.1711	0.1483	0.0771	0.0002
Agricultura	0.0006	0.6408	0.0702	0.1811	0.1069	0.0002
Vegetação Natural	0.0088	0.0081	0.3753	0.3417	0.2656	0.0005
Pastagem	0.0017	0.0112	0.1157	0.3416	0.5292	0.0006
Silvicultura	0.0010	0.0044	0.1104	0.1690	0.7149	0.0002
Solo Exposto	0.0013	0.0099	0.1025	0.4024	0.4825	0.0013

Tabela 10 - Matriz Markoviana de probabilidade de transição entre as classes.

Através do cálculo da matriz de probabilidade de transição é possível notar que a classe com maior probabilidade em converter-se em outro uso no futuro é a classe de pastagem para a classe de Silvicultura. Esse resultado se dá com base na redução das áreas de pastagem que cambiaram para silvicultura tomando como suporte um momento passado (ano de 2013) para um momento atual (ano de 2017).

Como retratado na Figura 8, ao longo dos anos ocorre um decréscimo da vegetação natural para BHRP, contendo no ano de 1984 cerca de 688,6 km² e passando a ocupar no ano de 2017 cerca de 264 km², tendo essa tendência continuada na simulação realizada para o ano de 2050, ocupando está classe um total de 223,3 km².

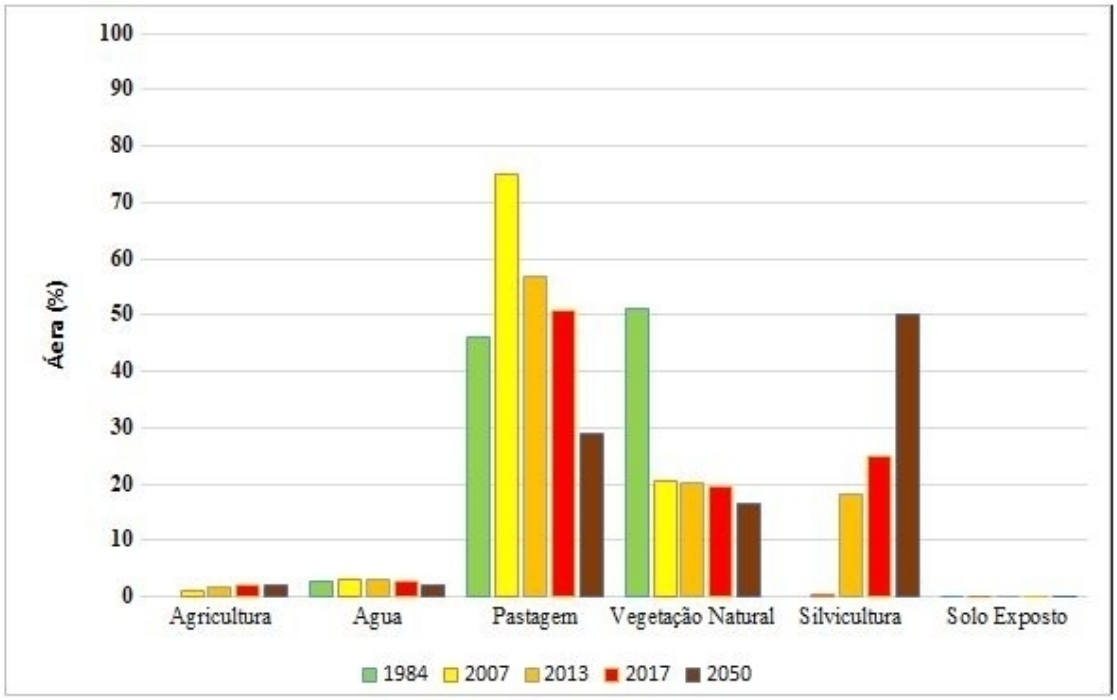

Figura 8 - Representação das classes de uso e cobertura da terra para BHRP comparando os anos de 1984, 2007, 2013, 2017 e 2050.

Na predição de cenário futuro para o ano de 2050 para BHRP o uso e cobertura da terra de maior predominância será a Silvicultura, o qual irá ocupar pouco mais de 50% da área total. Para tal ano simulado nota-se a tendência de diminuição do uso da pastagem, processo este notado a partir do ano de 2007 em que esta classe representava 75% da área da bacia, enquanto nos anos de 2013 e 2017 ocorre sua diminuição para 56,8% e 50,7%. A previsão para classe de agricultura no ano de 2050 é cerca de 2,1% da área da bacia, tendo expandido 0,2% quando comparado ao ano de 2017. A classe temática água passa a representar cerca de 2,1% da área mapeada, enquanto na vegetação natural tem-se uma leve diminuição visto que esta ocupava 19,4% da BHRP em 2017 e no cenário para 2050 a previsão é de 16,5%.

A Figura 9 representa a espacialização do uso e cobertura da terra simulado para o ano de 2050 e sua comparação com os demais anos já mapeados para BHRP.

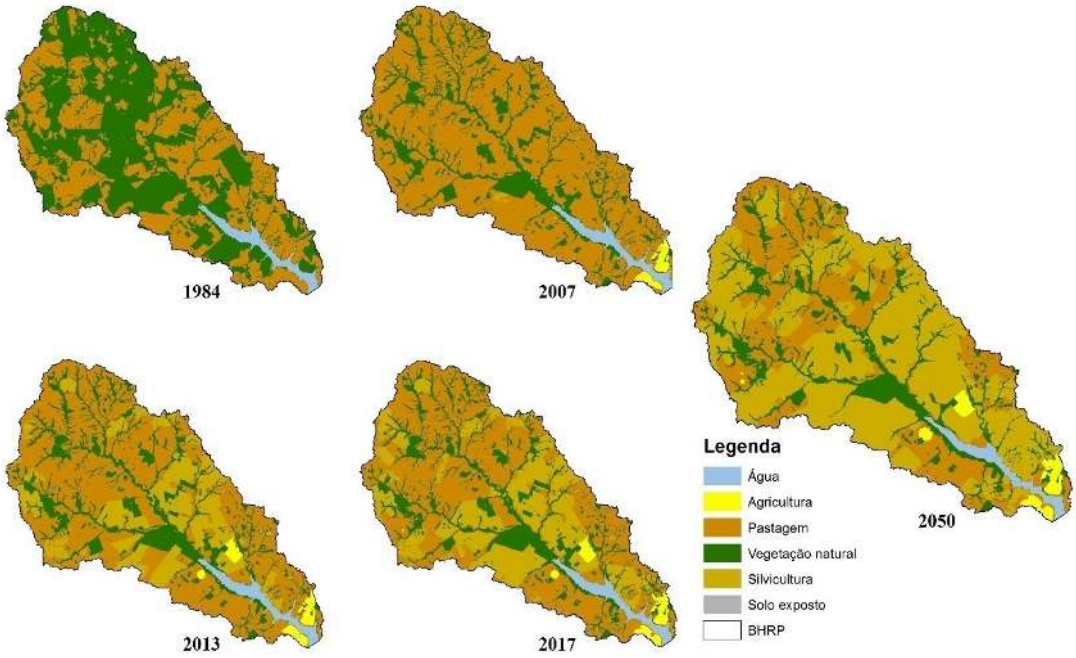

Figura 9 - Espacialização do uso e cobertura da terra para os anos de 1984, 2007, 2013, 2017 e 2050.

A necessidade por demanda de matéria prima para o aumento da produção de celulose provavelmente será o principal fator para aumento das áreas plantadas com Silvicultura. O Plano Estadual de Desenvolvimento de Florestas Plantadas (SEBRAE/SEPROTUR, 2009) exibe uma perspectiva futura na qual o setor florestal de Mato Grosso do Sul de ter crescimento de demanda por madeira, sendo necessários cerca de 885 mil hectares de florestas em regime de manejo sustentável, onde 790 hectares serão destinados a atender as grandes empresas nos segmentos de celulose e siderurgia. Desta forma, a BHRP por localizar-se cerca de 50 km de distância de uma das grandes empresas do setor de papel e celulose consolida-se como uma área de interesse de expansão das áreas plantadas com Eucalipto.

Entretanto, o modelo de previsão de mudanças futuras utilizando o método CA-Markov tem como princípio a simulação das mudanças acompanhando a tendência de transformações da paisagem ocorridas no passado, não incluindo de modo direto oscilações influenciáveis por variáveis econômicas, configurando-se com um limite do modelo.

Fragilidade Potencial a processos erosivos

A BHRP apresenta de maneira geral uma baixa fragilidade potencial a processos erosivos, ou seja, na junção de fatores naturais como solos, declividade, intensidade pluviométrica e áreas prioritárias a conservação da biodiversidade, o potencial de processos erosivos em cerca de 79,87% da área total apresenta-se como áreas com baixas propensões a sofrerem processos erosivos levando em conta apenas as suas próprias características naturais. A figura 10 exibe a Fragilidade Potencial da BHRP.

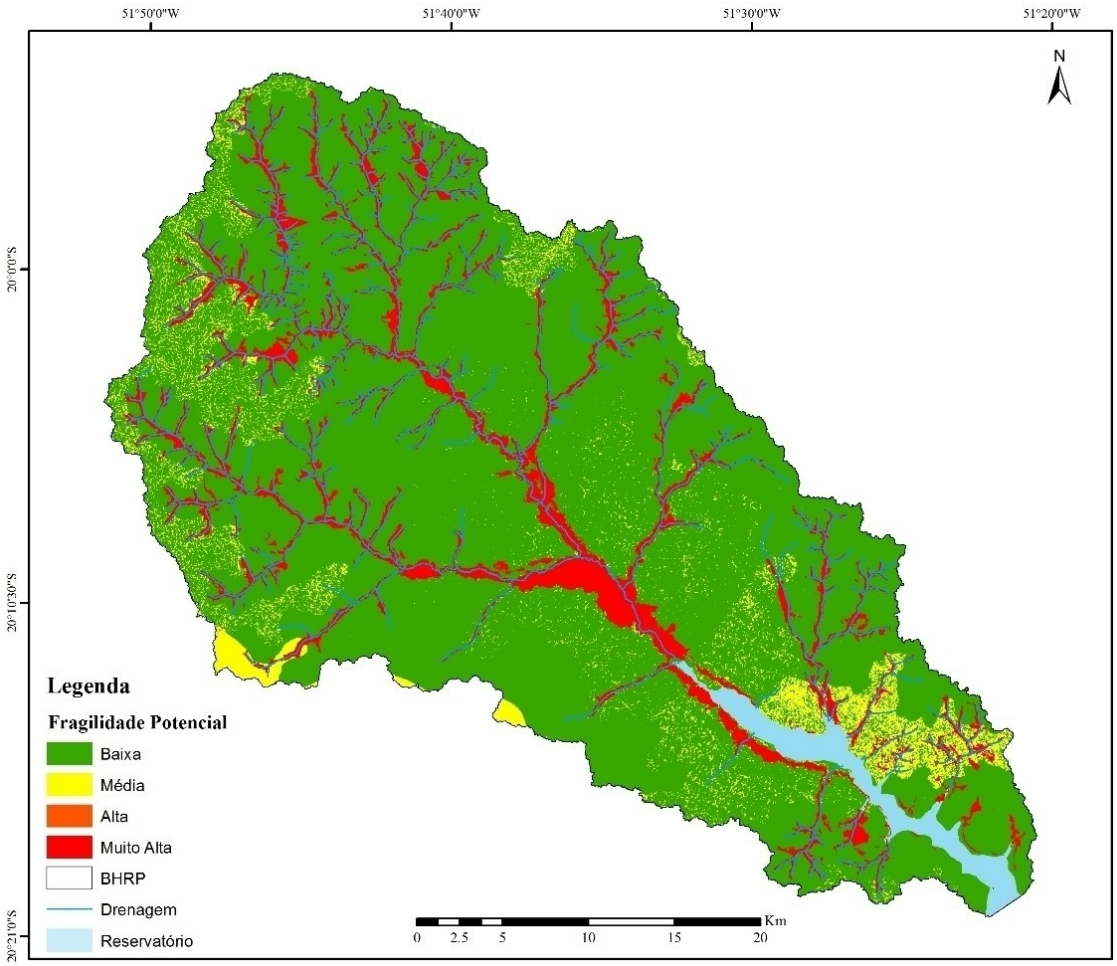

Figura 10 - Fragilidade Potencial BHRP.

As áreas de média fragilidade potencial correspondem a 6,17% da área de estudo consolidam-se como factíveis áreas as quais podem desenvolver-se processos erosivos, sendo necessário o manejo adequado destas áreas desde já. Com a predição do cenário futuro para o ano de 2050, cerca de 60,4 km² das áreas que apresentam média fragilidade potencial a processos erosivos terão como cobertura principal a plantação de Silvicultura, representando 63,1% da área total de média fragilidade potencial a processos erosivos. Áreas com muito alta fragilidade ambiental correspondem a 11,54% da área total de estudo, estando na predição do cenário futuro as áreas plantadas com silvicultura corresponderam há 1,85% destas áreas.

Do ponto de vista da potencialidade dos processos erosivos, o avanço da Silvicultura sobre as áreas que apresentam média e muito alta fragilidade potencial podem ser visto por duas óticas, como apresentado por Pires et al. (2006), em relação ao preparo do solo, sendo utilizadas técnicas com amplo revolvimento das camadas superficiais através da aração e gradagem, e o segundo prisma consistiria no cultivo mínimo, estando este em expansão decorrente à preocupações em obter-se produtos florestais com ótima qualidade sem prejudicar a qualidade dos solos.

CONCLUSÃO

A utilização do método de classificação GEOBIA apresentou excelentes resultados para classificação do uso e cobertura da terra na BHRP, principalmente levando em consideração as diversas fitofisionomias vegetais da classe de Savana (Arborizada, Florestada e Gramíneo-Lenhosa), desse modo, recomenda-se a aplicação deste método em imagens de média resolução espacial para classificar áreas com características semelhantes às da BHRP.

Na análise multitemporal de mudanças no uso e cobertura da terra notou-se dois períodos distintos de transformações na paisagem, o primeiro entre os anos de 1984-2007 com a supressão da vegetação natural, principalmente o Cerrado, para inserção de áreas com pastagem plantadas, e o segundo momento com o avanço das áreas de plantio de Eucaliptos entre os anos de 2007-2017, sendo estas áreas voltadas ao abastecimento das grandes fábricas de papel e celulose instaladas no município de Três Lagoas, MS.

Por fim, constatou-se que a utilização do método CA-Markov acoplado a análise multicritério de evoluções a partir da lógica AHP obteve excelentes resultados na predição de um cenário futuro para o ano de 2050 para BHRP, utilizando-se de variáveis explicativas para onde seria tendência a expansão dos eucaliptos, sem levar em consideração fatores econômicos.

A expansão das futuras áreas de eucalipto tenderá a ocorrer predominantemente em ambientes de média fragilidade ambiental, o que requer atenção redobrada em relação às práticas conservacionistas a serem adotadas. A necessidade impulsionadora pela demanda de matéria prima para o aumento produção de papel e celulose caminha de encontro ao retratado na predição do cenário futuro de uso e cobertura da terra para BHRP, evidenciando a expansão e o predomínio das áreas de silvicultura para o ano de 2050.

Apesar da maior parte da BRHP ser de baixo potencial a processos erosivos naturais é necessário atenção às áreas de plantações de Silvicultura, principalmente baseado na tendência de expansão destas áreas, sendo de suma importância medidas que auxiliam na manutenção dos fragmentos de vegetação naturais restantes que representam 16,5% da área total, bem como cuidados no manejo das áreas de pastagens.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ainda ao apoio institucional do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, S.; SOUTHWORTH, J. Simulating forest cover changes of Bannerghatta National Park based on a CA-Markov model: a remote sensing approach. **Remote Sensing**, v. 4, n. 10, p. 3215-3243, 2012.

ARAYA, Y. H.; CABRAL, P. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. **Remote Sensing**, v. 2; n. 6; p. 1549-153, 2010.

ARIAS, H. A.; ZAMORA, R. M.; BOLANOS, C. V. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, RapidEye, Spor 2 y Landsat 8 con el modulo FLAASH del software ENVI. **Revista Geográfica de América Central**, v.2, n.53, p. 39-59, 2014.

BAATZ, M., SCHÄPE, A., Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl, J.,Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), Angew. Geogr. Info. verarbeitung.Wichmann-Verlag, Heidelberg, pp. 12–23, 2000.

BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.;QUÉNO, H.; VANNIER, C.; CORGNE, S. Markov chains-cellular automata modeling and multicriteria analysis of land cover change in the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal wetland. **Journal of applied remote sensing**. v. 10, n.1, p. 016004, 2016.

BANKO, G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methods including remote sensing data in forest inventory. **International Institute for Applied Systems Analysis**. Laxenburg, Austria, 1998.

BENZ, U.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGEFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPR Journal of**

photogrammetry and remote sensing. v. 58, n 3-4, p. 239-258, 2004.

BLASCHKE, T.; HAY, G. J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; FEITOSA, R. Q.; VAN DER MEER, F.; VAN DER WERFF, H.; VAN COILLIE, F.; TIEDE, D. Geographic object-based image analysis-towards a new paradigma. **ISPR jornal of photogammetry and remote sensing**, v. 87, p. 180-191, 2014.

BORLACHENCO, N. G. C.; GONÇALVES, A. B. Expansão agrícola: Elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul: **Interações**, v. 18, n. 1, p. 119-128, 2017.

BRASIL, Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Folha SF. 22 Campo Grande. Rio de Janeiro, 1980.

BRASIL, Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Folha SE. 22 Campo Grande. Rio de Janeiro, 1983.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Biodiversidade e Florestas. Deliberação CONABIO nº 39, de 14 de dezembro de 2005.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote sensing of environment**, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de Medeiros; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

DA SILVA, A. M.; DA SILVA, J. D. S. V.; DA SILVA, G. A. Análise da Cobertura Vegetal da Unidade de Planejamento e Gestão (UPG) do rio Quitéria. **Revista GeoPantanal**, v.9, n.16, p. 185-206, 2014.

EASTMAN, J. R. Multi-criteria evaluation and GIS. **Geographical information systems**, v. 1, n. 1, p. 493-502, 1999.

EUCLIDES FILHO, K. A pecuária de corte no Cerrado brasileiro. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, p. 613-644, 2008.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Status of the World's Soil Resources. 2015. Disponível em: http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf

FAO, Organizacion de las Naciones Unidas para la ALimentación y la Agricultura. El estado de los bosques del mundo: desafios y oportunidades en relácion con el uso de la tierra. Roma. 2016. Disponível em: http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da bacia bauru (Neocretaceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717-728, 2000.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote sensing of environment**, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.

FORMAN, R. T. T. Land mosaics, the ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge University press, 1995.

FU, X.; WANG, X.; YANG, Y. J. Deriving suitability factors for CA-Markov land use simulation model based on local historical data. **Journal of Environmental Management**. v. 206, p. 10-19, 2018.

GASHAW, T.; TULU, T.; ARGAW, M.; WORQLUL, A. Modelling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1394-1408, 2018.

HALMY, M. W.; GESSLER, P. E.; HICKE, J. A.; SALEM, B. B. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. **Applied Geography**, v. 63, p. 101-112, 2015.

HE, J.; LIU, Y.; YU, Y.; TANG, W.; XIANG, W.; LIU, D. A counterfactual scenario simulation approach for assessing the impact of farmland preservation policies on urban sprawl and food security in a major grain-producing area of China. **Applied Geography**, v. 37, p. 127-138, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Mapeamento de Recurso Naturais do brasil, Escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 2018.

IBGE, 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Manuais Técnicos em Geociências, n. 7. Rio de Janeiro, IBGE, 2ªe p. 271, 2012.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on Climate Change, Desrtification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. August 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf

KAMUSOKO, C.; ANIYA, M.; ADI, B.; MANJORO, M. Rural sustainability under threat in Zimbabwe–simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model.**Applied Geography**, v. 29, n. 3, p. 435-447, 2009.

KRUSE, F. A. Comprasion of ATREM, ACORN and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder, CO. In: Summaries of 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, Jet Propulsion Lab, Pasadena, Ca. 2004.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

LI, M.; MA, L.; BLASCHKE, T.; CHENG, L.; TIEDE, D. A systematic comparison of diferente object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 49, p. 87-98, 2016.

MATO GROSSO DO SUL. Estudo da Dimensão Territorial do Estado do Mato Grosso do Sul: Região de Planejamento. Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico, Campo Grande, 2015.

MELO, D. S.; SILVA, M. O. A questão agrária no território rural do Bolsão/MS: algumas aproximações. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 14, n.1, p. 140-164, 2016.

MITSOVA, D.; SHUSTER, W.; WANG, X. A cellular automata model of land cober change to integrate urban growth with open space conservation. **Landscape and Urban Planning**. v. 99, n. 2, p. 141-153, 2011.

MOGDHADAM, H. S.; HELBICH, M. Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. **Applied Geography**, v. 40, p. 140-149, 2013.

MONDAL, M. S.; SHARMA, N.; GARG, P. K.; KAPPAS, M. Statistical independence teste and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. **The Egypitian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 19, n. 2, p. 259-272, 2016.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. UFV, 2007.

PEDROSA, B.; CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Org.). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/

PERTILHE, C. T.; SILVA, G. O.; DE SOUZA, C. F.; NICOLETTI, M. F. Estudo da Eficiência de Classificações Supervisionadas Aplicadas em Imagem de Média Resolução Espacial. **BIOFIX SCIENTIFIC JOURNAL**, v.3, n. 2, p. 289-296, 2018.

PINTO, E. D. A.; AZAMBUJA, A. D.; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. D. B.; PICKBRENNER, K. Atlas Pluviométrico do Brasil: Isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, v.1, 2011.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; SA BRITO, L. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006.

PLATT, R. V.; RAPOZA, L. An evalution of object-oriented paradigm for land use/land cover classification. **The Professional Geographer**, v. 60, p. 87-100, 2008.

PONTIUS, G. R.; MALANSON, J. Comparison of the structure and accuracy of two land chenge models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 2, p. 243-265, 2005.

REVISTABW. Matriz de Confusão. **Revista Brasileira de Web: Tecnologia**. Disponível em: http://www.revistabw.com.br/revistabw/matriz-de-confusao/. Criado em: 16/02/2015. Ultima Atualização: 24/07/2015. Visitado em: 13/03/2018.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v. 8, p. 63-4, 1994.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Landforms and Environment Planning: Potencialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Volume Especial 30 anos, p. 38-51, 2012.

SANTOS, K. F.; MISSIO, F. J. Políticas Públicas de desenvolvimento regional em Mato Grosso do Sul. **Anais XVIII ENANPUR**, Natal2019. ISSN: 1984-8781 2019.

SEBRA/SEPROTUR, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agrário, da Produção, da Industria, do Comércio e do Turismo. Plano Estadual para o Desenvolvimento Sustentável de Florestas Plantadas. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M.; POTT, V. J.; SANTOS, K. R. S. Projeto GeoMS: cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. **Campinas/SP: Embrapa Informática Agropecuária**, v. 64, 2011.

SILVA, J. S. V.; SPERANZA, E. A.; VENDRUSCULO, L. G.; ESQUERDO, J. C. D. M.; MAURO, R. A.; BIANCHINI, S. L.; FLORENCE, R. O. Projeto GeoMS: melhorando o Sistema de Licenciamento Ambiental do Estado do Mato Grosso do Sul. **Campinas/SP: Embrapa Informática Agropecuária**, v. 64, 2011.

SMITS, P. C.; DELLEPIANE, S. G.; SCHOWENGERDT, R. A. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approache. **International journal of remote sensing**. v. 20, n. 8, p. 1461-1486, 1999.

TURRETA, A. P. D. Mudanças de Uso da Terra em Bacias hidrográficas. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

VILELA, M. J. A. Desafios ambientais da expansão do plantio de eucalipto no cerrado de Três-Lagoas, MS, Brasil. **Revista Eletrônica AGB-TL**, v.1, n. 14, p. 123-140, 2011.

WHITESIDE, T.; AHMAD, W. A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in northern Australia. In: **Proceedings of SSC2005 Spatial Intelligence, innovation and práxis: The national biennial Conference of the Spatial Science Institute**. p. 1225-1231, 2005.

WILLHAUCK, G.; SCHNEIDER, T.; DE KOK, R.; AMMER, U. Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT

multispectral satellite images and aerial photos. In: **Proceedings of XIX ISPRS congresso**. 2000, p. 35-42.

ZAVATTINI, J. A. As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 212 p.