

# MODELAGEM DO DESMATAMENTO NA REGIÃO ECÓTONA ENTRE OS BIOMAS CERRADO E AMAZÔNIA

Welisson Wendel Eufrásio Gomes<sup>1</sup>, Miluska Blas Leon<sup>2</sup>, João Pedro dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil, welissoneufrazio@hotmail.com; <sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil, miluskablasbr@gmail.com; <sup>3</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil, joaopedrosgeo@gmail.com.

## RESUMO

A análise temporal e espacial da mudança do uso da terra é um importante aliado na obtenção de diagnósticos e prognósticos ambientais, auxiliando os gestores na elaboração de políticas públicas de ocupação do espaço. Um dos processos ambientais atualmente vivenciados é o desmatamento nos biomas da Amazônia Brasileira e do Cerrado, causado pela expansão da fronteira agropecuária. Este estudo tem como objetivo modelar e analisar o processo de desmatamento em uma região ecótona Amazônia / Cerrado entre os anos de 1997 e 2033. Para a modelagem, utilizou-se o software DINAMICA EGO, uma eficiente plataforma de modelagem ambiental, seguindo três etapas: calibração, simulação e validação. O modelo apresentou resultados satisfatórios durante as validações utilizando o método de similaridade *fuzzy*. Os resultados apontaram para um intenso desmatamento para o ano de 2033, justificado pela ausência de variáveis mitigadoras durante a análise.

**Palavras-chave** — modelagem ambiental, mudança na cobertura do solo, dinâmica da paisagem, desmatamento.

## ABSTRACT

*The temporal and spatial analysis of land use change is an important ally in obtaining environmental diagnoses and prognoses, assisting managers in the elaboration of public policies for space occupation. One of the environmental processes currently experienced is the deforestation in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes caused by the expansion of the agricultural and livestock frontiers. This study aims to model and analyze the deforestation process in an Amazonian / Cerrado ecotone region between 1997 and 2033. For the modeling, the software DINAMICA EGO was used, an efficient environmental modeling platform, following three stages: calibration, simulation and validation. The model presented satisfactory results during the validations using the fuzzy similarity method. The results pointed to an intense deforestation for the year 2033, justified by the absence of mitigating variables during the analysis.*

**Key words** — environmental modeling, land-cover changes, landscape dynamics, deforestation.

## 1. INTRODUÇÃO

Entre os anos de 1997 a 2003 a Amazônia Brasileira passou por um período de vertiginoso crescimento das taxas anuais de desmatamento, saindo de 13,2 para 25,3 mil km<sup>2</sup> desmatados por ano [1]. A motivação principal foi a expansão das fronteiras agropecuárias ao longo do chamado arco do desmatamento, região que se estende do nordeste do estado do Pará ao leste do estado do Acre [2].

Nesse contexto, alterou-se significativamente a paisagem não só do bioma Amazônico, mas também do bioma Cerrado. Com cerca de 60% de sua área desmatada, esse ecótono (zonas de transição entre dois ou mais biomas, possuidoras de uma imensa riqueza biológica) está localizado quase totalmente dentro do arco do desmatamento da Amazônia.

Com a finalidade de superar a complexidade desse fenômeno, preservar a biodiversidade e mitigar os efeitos adversos do desmatamento, diversas ferramentas de geotecnologias têm sido usadas para indicar áreas prioritárias para a conservação bem como direcionar ações do poder público. A modelagem de sistemas constitui-se em um exemplo do uso de tais ferramentas, pois auxilia no entendimento dos mecanismos indutores e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais. [3].

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo modelar e analisar o processo de desmatamento na região ecótona entre os biomas Cerrados e Amazônia entre os anos de 1997 a 2033.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo se localiza na divisa entre os estados do Mato Grosso e Pará, bem como na região de ecótono Amazônia/Cerrado. Com aproximadamente 27 mil km<sup>2</sup>, a área se encontra inteiramente dentro do arco de desmatamento, como mostra a Figura 1.

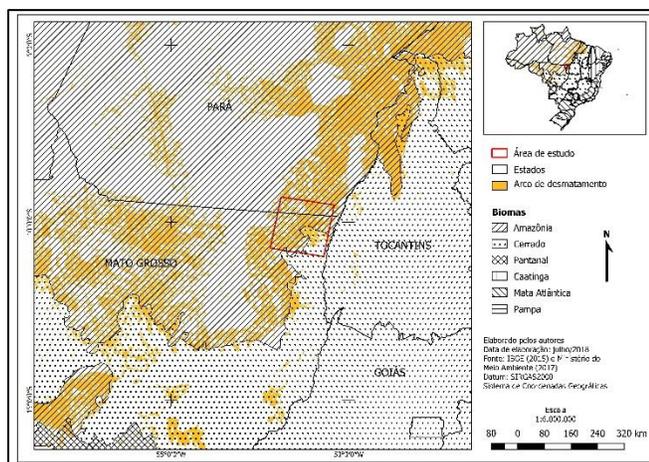


Figura 1: Mapa de representação da área de estudo.

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizados os mapas observados de cobertura de solo dos anos de 1997, 2000 e 2003, provenientes do PRODES, com resolução espacial de 250 metros. Um total de onze variáveis determinantes (áreas protegidas, declividade, altitude, vegetação, solo, atração urbana, distância a todas as estradas, distâncias as estradas pavimentadas, distância aos assentamentos, distância aos rios principais, distância aos rios transversais e distância das áreas desmatadas) foram selecionadas para servirem de *inputs* na modelagem do desmatamento. Todas as variáveis tiveram seus respectivos pesos de evidência calculados.

O método de pesos de evidência consiste em um método de inferência estatística, de caráter bayesiano, capaz de calcular a influência de variáveis determinantes na predição espacial de uma variável resposta [4]. Quando aplicado na mudança de uso e cobertura de solo, esse método irá inferir o peso para cada variável determinante baseado na ausência ou presença de cada mudança de uso e cobertura de solo [5].

Para a modelagem do desmatamento foi utilizado o *software* DINAMICA EGO versão 4.4.0.10, uma sofisticada plataforma para modelagem ambiental, concebido como um instrumento para investigação de trajetórias de paisagens e dinâmica de fenômenos espaciais [6]. O processo de modelagem ambiental executado nesse estudo pode ser dividido em três etapas que se inter-relacionam, sendo elas: a calibração, simulação e validação do modelo.

### 2.1 Calibração do Modelo

O processo de calibração foi realizado utilizando os mapas observados de cobertura de solo dos anos de 1997 e 2000, e compreendeu as etapas de (i) determinação dos intervalos categóricos das variáveis explicativas; (ii) determinação dos coeficientes de pesos de evidência para cada intervalo e (iii) análise de correlação entre as variáveis explicativas.

Assim, foi gerada uma matriz de transição que demonstra as mudanças ocorridas entre 2000 e 2003. Com isso, pôde-se obter as taxas de alteração das áreas.

Para identificar a susceptibilidade às mudanças foi utilizado o método de pesos de evidência. Esse método é aplicado somente a dados categóricos, sendo necessário a discretização das variáveis contínuas. Durante esse processo observou-se a significância para cada intervalo determinado, ou seja, para cada variável determinante foi atribuído um intervalo que a tornasse mais explicativa para o processo em estudo. Posteriormente foram calculados os pesos de evidência para os respectivos intervalos.

### 2.2 Simulação do Modelo

Para a execução das simulações anuais de mudanças na cobertura do solo foram utilizados o mapa observado de cobertura do solo inicial e final, relativos aos anos de 2000 e 2003 respectivamente, o conjunto de variáveis determinantes, a matriz de transição anual (calculada para os anos de 2000 a 2003) e os pesos de evidência previamente determinados. Nessa etapa foi efetuado o cálculo da matriz de transição entre os anos 2000-2003, a qual indica a forma como as classes de cobertura do solo variam em instantes de tempo distintos.

Foi informado ao modelo o número de 3 passos, correspondentes aos 3 anos decorridos entre o tempo inicial e final do período de simulação. Como *outputs*, foram produzidos 3 mapas simulados de cobertura do solo, bem como mapas de probabilidades para cada uma das transições (2000-2001; 2001-2002; 2002-2003).

Para o modelo de simulação foram utilizadas as ferramentas *patcher* e *expander* existentes no DINAMICA EGO, responsáveis respectivamente pela criação de novas manchas de mudanças e pela expansão e retração das manchas já existentes. Além do tamanho médio das manchas e da variância da área de mudança, também teve que ser informado o índice de isometria.

Durante a simulação, as variáveis determinantes sofreram alterações a cada passo, sendo continuamente atualizadas e influenciando assim o cálculo das probabilidades de transição no próximo passo de tempo. O mapa simulado deve se aproximar ao máximo possível do mapa observado de cobertura do solo, sendo realizados ajustes dos parâmetros internos do modelo e novas rodadas de simulação até se obter um resultado aceitável.

### 2.3 Validação do Modelo

Modelos espaciais necessitam serem comparados com o contexto de sua vizinhança, pois até mesmo aqueles mapas que não apresentam uma combinação exata na análise pixel-a-pixel podem apresentar uma correspondência (similaridade) de padrões espaciais dentro de uma vizinhança de pixels. Para a validação do modelo foi considerado o intervalo entre os anos de 2000 (inicial) e 2003 (final), a matriz de transição calculada para esse mesmo período, as variáveis determinantes e os pesos de evidência.

Visando conferir uma maior garantia à validação do modelo, foram executados dois métodos diferentes, a saber: (i) validação utilizando decaimento constante com múltiplas janelas; (ii) validação utilizando um mapa de probabilidade nulo (modelo nulo).

### 2.3.1 Validação utilizando decaimento constante com múltiplas janelas

Esse método emprega uma função de decaimento constante com um tamanho de janela variável. Ele é baseado no método de similaridade *fuzzy*, o qual inclui o *Kfuzzy*, considerado equivalente ao método estatístico *Kappa*, e a similaridade *fuzzy*, que verifica a localização e a categoria dentro da vizinhança da célula considerada.

Nesse estudo foram identificados os valores mínimos de similaridade utilizando os valores de janelas 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11. Quanto mais próximo de 1, maior a similaridade entre os mapas. Assim, foram identificadas as distinções entre os mapas de cobertura do solo observado final e inicial reais; e final simulado e inicial real.

### 2.3.2 Validação utilizando um mapa de probabilidade nulo

Durante esse processo de validação gerou-se um mapa nulo de cobertura do solo simulado para o ano de 2003, tendo como base um mapa de probabilidade nulo. Para o mapa de probabilidade nulo foi definido um valor igual para todas as células (0,5), significando que a mudança de classe de cobertura do solo poderia ocorrer em qualquer célula de forma aleatória durante a rodada de simulação, uma vez que nenhuma das células apresentaria uma probabilidade maior de mudança em relação a célula vizinha.

Posteriormente esse mapa nulo de cobertura do solo simulado foi submetido a mesma validação apresentada no tópico anterior, sendo inserido no lugar referente ao mapa de cobertura do solo simulado. Agora, no entanto, o resultado esperado é um valor de similaridade menor do que o observado na validação utilizando decaimento constante com múltiplas janelas, o que significaria que o modelo produzido não está gerando mudanças de cobertura do solo de maneira aleatória.

## 3. RESULTADOS

Durante a validação do modelo observou-se índice de similaridade com valor de 0,584 na menor janela de células (3x3) para função de decaimento constante. Complementarmente, obteve-se o índice de similaridade de 0,351 quando executado o modelo de validação nulo. Esses resultados demonstram o bom ajustamento do modelo de desmatamento construído e podem ser observados no mapa da Figura 2, que apresentam grandes semelhanças nas áreas de floresta e áreas desmatadas.

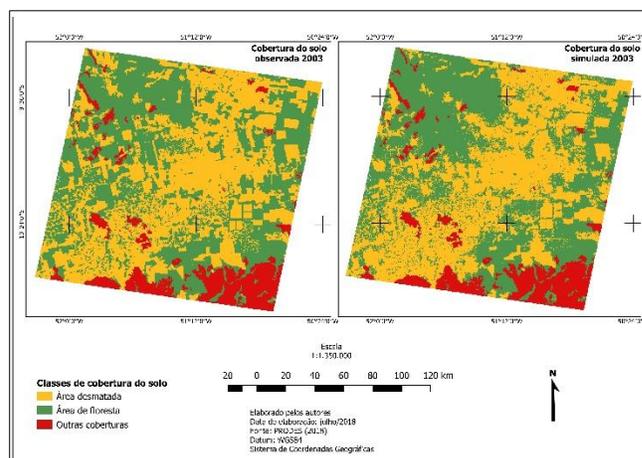


Figura 2. Mapas de cobertura do solo observado (esquerda) e cobertura de solo simulado (direita), ambos para o ano de 2003.

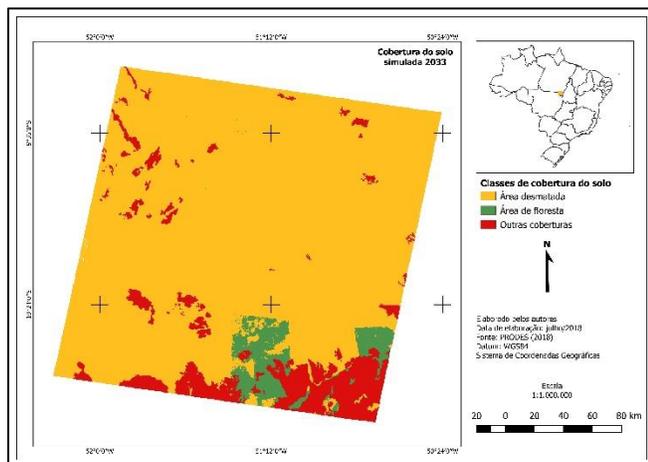
A validação do modelo dada pelos índices de similaridade *fuzzy*, calculados através do decaimento constante, obtidos para a simulação resultante da modelagem espacial dinâmica dos anos de 2000 a 2003, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de similaridade de fuzzy calculados através das funções de decaimento constante para distintos tamanhos de janelas.

Janela	2000-2003	
	Constante	Modelo nulo
3x3	0.584	0.351
5x5	0.732	0.466
7x7	0.798	0.551
9x9	0.829	0.615
11x11	0.851	0.668

De acordo com as modelagens executadas, observa-se que entre os anos analisados pela simulação (2000-2003) a classe ocupada por floresta obteve um decréscimo de 7,25%, uma perda de mais de 200 mil ha, enquanto que a área desmatada cresceu no mesmo valor de porcentagem e de área. A coincidência dos valores é justificada pelo fato de ter sido analisada apenas a transição Floresta → Área Desmatada. Em comparação com os mapas observados de cobertura do solo, que para o mesmo período apontaram uma perda de aproximadamente 310 mil ha, o modelo se mostrou bem coerente devido a pouca diferença apresentada entre o observado e simulado em relação ao tamanho total da área de estudo, que gira em torno de 2,8 milhões de ha. Modelando para o ano de 2033, nos deparamos com um cenário de intenso desmatamento, como podemos observar na Figura 3, devido à ausência de variáveis mitigadoras que poderiam assumir o papel de controle e contenção do desmatamento. Os resultados apontaram que áreas desmatadas em 2033 representariam cerca de 86% da área

de estudo, muito acima dos 46% simulados para o ano de 2003.



**Figura 3. Mapa de cobertura de solo simulado para o ano de 2033.**

Ainda assim pode-se notar na Figura 3 regiões de floresta preservada localizadas na região sul/sudeste da área de estudo. Essas regiões correspondem à territórios indígenas, o que justifica o fato de não terem sofrido desmatamento na mesma proporção que o restante da área de estudo. Essa observação é sustentada pelo estudo realizado por Soares-Filho [2], cujos resultados mostraram que as áreas protegidas, que incluem os territórios indígenas, são de fato inibidoras do desmatamento.

#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com outros estudos, os resultados obtidos durante a validação são considerados adequados e satisfatórios [7]. Essa afirmativa é pertinente devido ao método implementado no DINAMICA EGO desconsiderar células que não passaram por alterações no período de estudo, eliminando a possibilidade de superestimar esse índice, tornando esse um método rigoroso de avaliação.

Importante salientar que a análise foi realizada desconsiderando os prováveis fatores de mitigação e contenção do desmatamento, como por exemplo, as políticas públicas de conservação ambiental e uso do solo instituídas através do novo código florestal brasileiro. Esse fato contribuiu para as altas taxas de desmatamento observadas para o ano de 2033.

#### 5. CONCLUSÕES

O *software* DINAMICA EGO se apresentou como uma eficiente ferramenta para a modelagem da dinâmica espacial de cobertura do solo na região ecótona Amazônia-Cerrado. Os índices de similaridade *fuzzy*, obtidos através dos métodos de validação com decaimento constante e múltiplas janelas, apresentaram valores satisfatórios demonstrando o

bom ajuste do modelo. Tal fato permite avaliar a continuidade do processo de mudança do uso e cobertura do solo, auxiliando no gerenciamento de políticas públicas mediante a tomada de decisões.

Agradecimentos à Fapemig pela concessões de bolsa de mestrado para o autor Welisson Wendel Eufrásio Gomes, e a Capes pelas concessões de bolsas de mestrado para os autores Miluska Blas Leon e João Pedro dos Santos. E finalmente, ao Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (CSR) pela disponibilização da base de dados utilizada.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Taxas anuais de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira (AMZ). Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html>>. Acesso em: 17.julho.2018.
- [2] Soares-Filho, B. S.; Dietzsch, L.; Moutinho, P.; Falieri, A.; Rodrigues, H.; Pinto, E.; Maretti, C. C.; Scaramuzza, C. A. M.; Anderson, A.; Suassuna, K.; Lanna, M.; Araújo, V. F. Redução das emissões de carbono do desmatamento no Brasil: o papel do Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA).2012. Disponível em: <<http://arpa.mma.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/reduodasEmisses.pdf>>. Acesso em: 17.julho.2018.
- [3] Soares-Filho, B. S.; Assunção, R. M.; Pantuzzo, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *BioScience*, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.
- [4] Soares-Filho B et al., 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, 10: 745-764.
- [5] Gago da Silva, Ana; RAY, Nicolas; LEHMANN, Anthony. Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. *International Journal of Geo-Information*, 2017, vol. 6, no. 115.
- [6] Rodrigues, H. O.; Soares-Filho, B. S.; Costa, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3089-3096.
- [7] Benedetti, A. C. Modelagem dinâmica para simulações de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. 2010. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.