

# ANÁLISE DE DESEMPENHO DA METODOLOGIA AUTOMÁTICA PARA DETECÇÃO RETROATIVA DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA: ETAPA RONDÔNIA

Letícia F. Sartorio<sup>1</sup>, Anniely S. Lemos<sup>2</sup>, Eduarda G. Machado<sup>2</sup>, Fabiano S. Dias<sup>1</sup>, Daniel C. Zanotta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Av. Itália, KM 8, Rio Grande – RS, Brasil, leticia.sartorio@outlook.com, fabianodias020@gmail.com;

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS, anniely.lemos@gmail.com, eduardamachadotw@gmail.com ;

<sup>3</sup> Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia CEPSRM – UFRGS, daniel.zanotta@riogrande.ifrs.edu.br;

## RESUMO

Este estudo apresenta os resultados da aplicação de uma metodologia automatizada de detecção retroativa do desmatamento da Amazônia para o estado de Rondônia. O sistema oficialmente adotado pelo governo passou a monitorar os focos de desflorestamento a partir de 1988, porém, não apresenta mapeamento detalhado sobre esses episódios, contando apenas com as taxas anuais. Somente em 1997, com o PRODES digital é que o sistema passou a fornecer dados vetoriais sobre os fragmentos anualmente a partir de uma detecção analógica realizada por interpretação visual. A metodologia automatizada de detecção reduz consideravelmente a interferência do usuário, diminuindo também o tempo de análise, além de conferir objetividade ao mapeamento. Com os resultados desse trabalho, pôde-se complementar a informação sobre os desmatamentos ocorridos antes de 2000, que alcançaram 41456,084 km<sup>2</sup> de área desmatada, e fornecer um banco de dados detalhando mais de três décadas de exploração da floresta amazônica.

**Palavras-chave** — desmatamento, prodes, detecção.

## ABSTRACT

*This study describes the application of an automated methodology for retroactive detection of Amazon deforestation in Rondônia-Brazil. The system officially adopted by the Brazilian government to detect the deforestation fragments was implemented in 1988. However, the detailed mapping was not possible, since only annual rates were counted, but with no spatial description. Only in 1997 the system started to provide data on digital systems, based on an analog verification performed by visual interpretation, which was able to produce detailed deforestation mapping. The automated detection used in this work reduces user interference as well as the time spent in the analysis, providing absolute objectivity to the mapping. By merging the available data to the data produced by the related method, the information on deforestation occurred*

*before 2000, which reached 41456,084 km<sup>2</sup> of deforested area, was completed and a database was provided detailing the three decades of research in the Amazon rainforest.*

**Key words** — deforestation, prodes, detection.

## 1. INTRODUÇÃO

O desflorestamento em larga escala é uma prática extremamente preocupante devido aos seus impactos diretos na biodiversidade local e no equilíbrio climático terrestre [1]. Muito comum na Amazônia brasileira desde a década de 1970, essa atividade é considerada crime ambiental e traz diversas consequências danosas, como a redução do sequestro de carbono atmosférico, as secas em diversas regiões causadas pela perturbação dos regimes naturais de chuva, e a extinção de espécies nativas importantes para a identidade do país [2]. Dentre os efeitos mais diretos, destaca-se a emissão indireta de gás carbônico para a atmosfera, o que intensifica a presença do efeito estufa [3] e o racionamento de água registrado no estado de São Paulo-SP em 2015. É importante ressaltar que os desmatamentos mais recentes ocorridos na Amazônia são em sua maioria motivados pela abertura de campos para a pecuária e agricultura [4].

A preocupação gerada pelos altos índices de desmatamento na Amazônia fez com que o governo brasileiro instituisse, no ano de 1988, a tarefa de monitorar o desflorestamento ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que criou o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). A metodologia inicial envolvia a detecção dos polígonos de desmatamento pela interpretação visual de imagens impressas, batizada de PRODES analógico. Entre os anos de 2003 e 2005, com o surgimento do PRODES digital, a interpretação das imagens se tornou totalmente computadorizada. O procedimento incluía o registro das imagens, segmentação, fracionamento pelo modelo linear de mistura espectral, e classificação automática. Os resultados alcançados eram imprecisos e muita edição posterior era necessária para que as taxas se aproximassem dos valores verdadeiros. A partir disso, os produtos de desmatamento

anual passaram a ser disponibilizados em mapas vetoriais separados por região, estados, e municípios. Desde o início, o PRODES faz uso principalmente de imagens da série *Landsat* e *CBERS*, entre outros.

É importante destacar que as metodologias propostas pelo PRODES geram resultados precisos e confiáveis, o que é fundamental para a gestão governamental sobre o território da Amazônia [5]. Porém, os resultados em forma de mapas digitais vetorizados obtidos pelo PRODES não compreendem o período anterior a 1997. Os eventos ocorridos até 1997 são apresentados em um único polígono por imagem. Apesar de ter sido iniciado em 1988, os resultados analógicos eram apenas usados para calcular as taxas regionais, mas sem registro espacial e temporal. Esse hiato temporal não impediu que as taxas anuais, informação mais importante, fossem estimadas e divulgadas, mas impede que estudos diversos e detalhados sobre as características e reais impactos do desmatamento sejam realizados. Como o processo de detecção envolve intensa mão de obra e tempo de trabalho, com custos altos associados, a descrição pretérita a 1997 não foi realizada e disponibilizada nos bancos de dados governamentais. Em [6], uma metodologia semi-automática para a detecção rápida do desflorestamento da Amazônia de forma retroativa para os anos anteriores a 1997 foi proposta e testada. A detecção envolvia a aquisição das mesmas imagens utilizadas originalmente na detecção analógica e de qualquer outra imagem da Amazônia cobrindo a década de 1970 e 1980 tomadas em período anterior ao início do monitoramento (1988). As imagens selecionadas foram adquiridas com correção geométrica precisa e validadas utilizando técnicas próprias de aferição. Adicionalmente, as imagens são calibradas e corrigidas atmosféricamente pelo método multifontes LEDAPS [7], garantindo precisão radiométrica nos valores digitais dos pixels. Após, uma sequência de técnicas desenvolvidas exclusivamente com o objetivo de emular a ação dos foto-interpretas é aplicado a fim de estimar os polígonos de desmatamento ano a ano.

O objetivo desse trabalho é avaliar os resultados alcançados pela detecção retroativa dos desmatamentos ocorridos entre os anos de 1984 e 2000 para o estado de Rondônia utilizando a metodologia apresentada em Freitas (2017). A partir dos mapas gerados, será possível analisar o histórico completo de evolução do desmatamento ao decorrer do tempo unindo os dados anteriores a 2000. Os resultados permitirão um melhor entendimento sobre a dinâmica apresentada pelo desmatamento em Rondônia, sendo possível identificar o ano exato do surgimento de cada fragmento. Esses poderão servir também como entrada em estudos climáticos e ambientais secundários, fornecendo uma aptidão temporal inédita a respeito do monitoramento da Amazônia brasileira.

## 2. METODOLOGIA SEMI-AUTOMÁTICA DE DETECÇÃO

### 2.1. Dados

As imagens utilizadas nesse estudo foram adquiridas gratuitamente a partir do repositório *Earth Explorer* do serviço geológico americano (USGS). Desde 2013, os dados do sensor TM do satélite *Landsat 5* foram disponibilizados por demanda com correção geométrica e atmosférica precisas. Aferições realizadas pelo grupo de pesquisa atestaram a qualidade dos produtos gerados e adequação ao estudo pretendido. Cada cena corresponde a uma órbita-ponto assumida no programa de monitoramento.

### 2.2. Pré-processamento

Desde 2015, os setores responsáveis pelo monitoramento da Amazônia aplicaram uma correção na máscara de detecção que incluía um deslocamento translacional (*shift*) a fim de alinhar geometricamente os dados históricos com o novo sistema de referência adotado pela NASA com o lançamento do *Landsat 8*. Nesse processo, todos os desmatamentos anteriores a 2015 foram mesclados em um único polígono (operação *dissolve*), e após, sistematicamente deslocados. Desde então, os novos desmatamentos vão sendo acrescentados ano a ano nesse novo sistema. Com isso, a máscara atual perdeu as informações sobre os limites dos desmatamentos identificados antes de 2015.

O procedimento aqui proposto parte da aquisição da máscara de 2014, com os fragmentos individuais conservados, e posterior ajuste translacional com objetivo de alinhar os dados, mas mantendo, ao mesmo tempo, os limites dos polígonos identificados a cada ano. Em seguida, todos os polígonos referentes a desmatamentos anteriores a 2000 foram utilizados para delimitar a área de atuação do método: apenas regiões que tiveram desmatamentos ocorridos antes de 2000. Nesse ponto, vale esclarecer que 1997 foi o ano de implementação dos trabalhos digitais, onde se criou um grande polígono englobando todos os desmatamentos ocorridos até então, originando a máscara que foi sendo atualizada a cada ano seguinte.



Figura 1. Exemplo da máscara de desmatamentos anteriores ao ano 2000 para a O/P 231/68.

### 2.3. Detecção de nuvens, sombras, e nevoeiros

Antes da etapa de detecção do desmatamento nas cenas, é importante verificar e excluir regiões das imagens cobertas por nuvens, sombras e nevoeiros. O método selecionado para essa tarefa foi desenvolvido exclusivamente para lidar com cenas naturais e apresenta precisão suficiente para as

necessidades aqui existentes. O método está publicado em [8] e assume que as chamadas classes de nebulosidade apresentam distribuições gaussianas de probabilidade. Amostras simples de cada um desses alvos é tomada diretamente na imagem pelo usuário. Logo, um classificador de máxima verossimilhança gaussiana é treinado e aplicado ao longo de toda a cena a procura de áreas cobertas que devem ser excluídas da análise.

#### 2.4. Detecção dos polígonos de desmatamento

As imagens são inicialmente segmentadas para possibilitar uma análise baseada em objetos, procurando tornar os resultados da detecção mais próximos daqueles derivados da interpretação visual por fotointérpretes.

O método retroativo de detecção de uma série temporal desde o primeiro ano até 2000 é separado em duas etapas: (1) detecção inicial e (2) detecção em série. A detecção inicial consiste em identificar os desmatamentos a partir da primeira imagem da série. Trata-se de uma classificação supervisionada utilizando o método de árvore binária de decisão. Amostras tradicionais de floresta e diferentes tipos de desmatamento são fornecidas ao método e este cria uma regra de decisão intuitiva, onde as motivações do usuário na escolha das amostras são perceptíveis na forma e seleção de feições do classificador.

Após a primeira etapa, as detecções posteriores são todas realizadas por pares de imagens consecutivas, ano após ano, o que denominamos detecção em série. Nesse estágio, as imagens são automaticamente subtraídas e a procura por polígonos de desmatamento é feita utilizando um método exclusivo baseado em cor, cuja documentação detalhada está disponível em [9]. O método leva em consideração as possíveis tonalidades apresentadas por polígonos que seriam provavelmente identificados pelo fotointérprete como desmatamento nas imagens. Essa técnica se baseia na transformação do sistema RGB para HSI, separando a matiz das demais componentes no espaço alternativo de cores. A particularidade é que, assim como é realizado pelos fotointérpretes, onde a visualização das imagens é feita em falsa cor na tela, o método transforma as bandas do vermelho e infravermelho nesse processo, e não os canais do visível (verde, vermelho, e azul), como é feito normalmente nesse tipo de transformação.

#### 2.5. Conversão para vetor e mosaicagem final

Os mapas finais em formato raster são transformados em arquivos vetoriais e mesclados, ano a ano. Após, diferentes órbitas-ponto são unidas e um recorte é feito para a região, estado, ou município particular. Finalmente, as taxas anuais podem ser calculadas nessas mesmas escalas e os fragmentos individuais acrescentados ao arquivo vetorial oriundo dos dados oficiais.

#### 2.6. Área de Estudo

Neste trabalho nós optamos por realizar um estudo de caso para o estado de Rondônia por ser um estado crítico que reúne uma das maiores taxas nacionais de desmatamento. A figura 2 mostra a área de estudo selecionada:

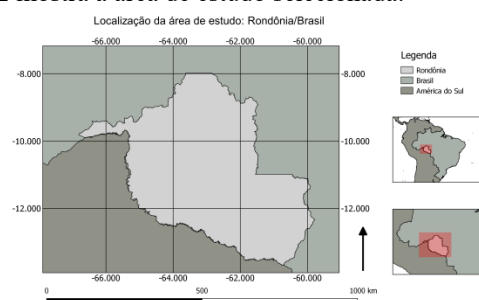


Figura 2. Área de estudo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas elencadas na seção dois foram realizadas para as imagens dessa região do estado. Após a realização das etapas foram gerados mapas de desmatamentos entre os anos de 1984 à 2000 para a área de estudo. Os desmatamentos detectados em toda a área estão apresentados na figura 3. Podemos perceber pelo mapa a densidade de desmatamento na região que foi detectada entre o período de 1984 à 2000.

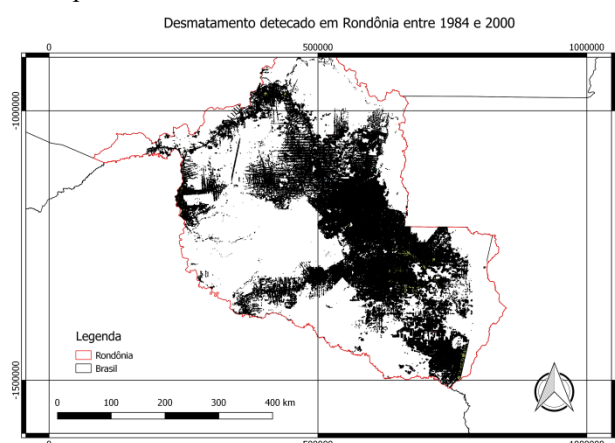


Figura 3. Desmatamento detectado na área de estudo.

A figura 4 apresenta um zoom do desmatamento para uma área de Rondônia na O/P 231/68, para fins de melhor visualização. É possível, a partir do mapa, acompanhar a evolução do desmatamento nessa região do estado de Rondônia. Cores quentes se referem a desmatamentos mais antigos enquanto cores frias se referem a desmatamentos mais recentes.

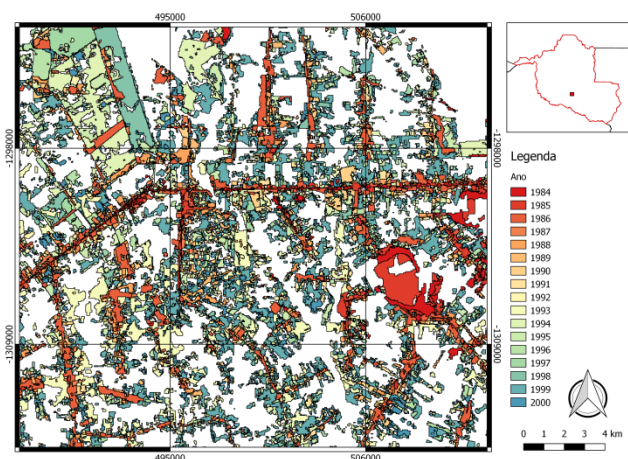


Figura 4. Zoom do desmatamento na área de estudo.

A partir dos mapas gerados foi calculado o índice de desmatamento na região para os anos de 1984 – 2000, os índices estão em quilômetros quadrados. A partir desse dado podemos saber a distribuição do desmatamento ao longo desse período, dessa forma preenchendo uma lacuna. Além disso, o gráfico aponta um maior índice de desmatamento para os anos de 1984, 1985 e 1986, o pico de desmatamento em 1984 pode ser explicado pelo fato que esse ano contempla as detecções de todos os desmatamentos anteriores. Já os menores índices de desflorestamentos foram detectados nos anos de 1992, 1990 e 1989. A área total detectada entre os anos observados são de 41456,084 quilômetros quadrados.

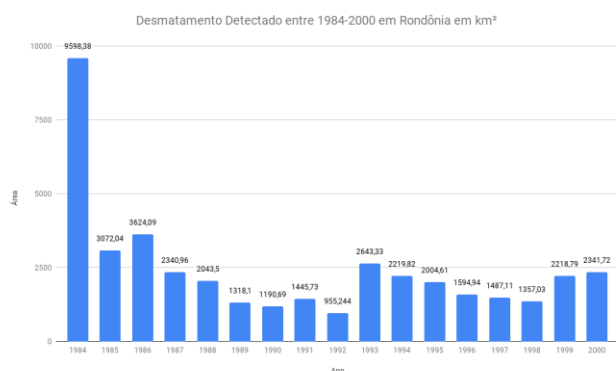


Figura 5. Gráfico do desmatamento entre 1984 e 2000 em quilômetros quadrados.

As taxas de desmatamento registradas através do método automático aqui proposto são condizentes com as quantidades verificadas pelas tabelas divulgadas pelo sistema de monitoramento analógico na época. Nota-se uma redução gradual até 1992, porém volta a crescer em 1993, depois diminui gradualmente novamente até 1998, com novo aumento registrado até 2000.

## 4. CONCLUSÕES

O desmatamento na Amazônia brasileira é um problema ambiental de repercussão mundial. O governo brasileiro detém um dos mais eficientes sistemas para detecção do desmatamento. Entretanto, a base de identificação dos fragmentos de desmatamento é por interpretação visual sobre imagens visualizadas na tela do computador. Essa limitação dificulta bastante a aferição dos resultados e agrega custo e tempo de processamento elevados. Impede ainda, que seja feita uma análise pretérita para períodos em que o sistema era analógico. O presente trabalho comprava que a metodologia testada foi eficaz na detecção dos fragmentos de desmatamentos ocorridos antes de 1997. Os resultados são capazes de pormenorizar a ocorrência de desmatamentos para anos onde sabia-se apenas a taxa global, mas não exatamente quando, onde, e como os desmatamentos haviam ocorrido em cada região específica do bioma. Os resultados tem o potencial de fomentar dados para estudos secundários que abordam as origens e forma de evolução dos desmatamentos na Amazônia, sendo também uma importante fonte de informações para estudos sociais e climáticos de micro escala.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Nobre, C. A.; Sampaio, G.; e Salazar, L. “Mudanças climáticas e Amazônia”. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.
- [2] Fearnside, P.M. “Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências”. *Megadiversidade*, v.4, n.1, pp. 113-123, 2005.
- [3] Matos, F. L. L. C. “Análise das taxas anuais de desmatamento na Amazônia Legal a partir da relação entre autos de infração e área desmatada no período entre 2000 e 2014”. 2016.
- [4] Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S. e Oliveira, W. “Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia”. *Revista Nova Economia*, Belo Horizonte - MG, v.19, n.1, pp.41-66, 2009.
- [5] Câmara, G.; Valeriano, D. de M. e Soares, J. V. “Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal”. São José dos Campos: INPE, 2013.
- [6] Freitas, S.B.; Pintado, T.P.; Zanotta, D.C; Sartorio, L.F. e Dias, F.S. “Metodologia para mapeamento retroativo do desflorestamento na Amazônia brasileira”. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, pp.7393-7400, 2017.
- [7] Masek, J.G.; Vermote, E.F.; Saleous, N.; Wolfe, R; Hall, F.G.; Huemmrich, F.; Gao, F.; Kutler, J. e Lim, T.K. “LEDAPS Calibration, Reflectance, Atmospheric Correction Preprocessing Code, Version 2”. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA, 2013. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1146>
- [8] Sartorio, L. F.; Dias, F. S.; Zanotta, D. C. “método adaptativo para detecção supervisionada de nuvens e sombras em imagens de cenas naturais”. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 6, pp. 1153-1161, 2017.
- [9] Zanotta, D.C; Sartorio, L.F.; Dias, F.S., Freitas, S.B. e Pintado, T.P. “Classificação supervisionada com base em atributos cognitivos de cor para imagens de sensoriamento remoto”, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, pp.7416-7423, 2017.