

Detecção e Classificação de padrões da Degradação Florestal na Amazônia por meio de banco de dados celular

Taise Farias Pinheiro¹
Maria Isabel Sobral Escada¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
taise.pinheiro@inpe.br, isabel@dpi.inpe.br

Abstract. Forest degradation is a threat looms over Amazon forest. Detection and Recognition of Forest Degradation patterns are important to address forest state. This study presents the asset of application of a novel free system for spatial data mining, called GeoDMA, for distinguishing patterns in forest degradation in Brazilian Amazon. Types were related to progressive events of decreasing forest canopy. An analysis of land cover dynamic, from satellite image time series, is also showed. Method was based on cell database construction, landscape metrics and data mining techniques. Cell-based classification, provided by GeoDMA, proved to be useful in distinguishing forest degradation patterns. Errors were mostly caused by spatial and spectral resolution constraints of Landsat images (30m) than to the rules used to perform classification. Cell data base construction with resolution of 1km² was suitable to represent forest degradation typologies. However, we recommend future studies to test finer resolution. Time analyses interval of three years between series data was not appropriate to represent land cover dynamics. Fast transition between forest and clear-cut requires analysis at annual-basis to better determine and detect forest degradation and their trajectories. Patterns have found to São Félix do Xingu may not be enough to represent all the patterns one can distinguish in Amazon region.

Keywords: GeoDMA, data mining techniques, Forest Degradation, Patterns, Amazon

1. Introdução

A degradação florestal é um processo de longo prazo, da ordem de anos a décadas (Lambin, 1999), que leva à alteração do estado da floresta primária (Cochrane, 2003). Este processo pode ser iniciado com a conversão da floresta primária, pela agropecuária ou por outros usos, devido à fragmentação florestal e o efeito de borda, ao mesmo tempo em que facilita o acesso às áreas de floresta intacta para a extração de madeira (Cochrane et al. 2005). As estradas construídas para a exploração de madeira, por sua vez, incrementam o acesso, e a cada ciclo de exploração, a atividade madeireira penetra cada vez mais na floresta, afetando uma porcentagem cada vez maior de floresta (Cochrane et al. 2005). A sinergia entre o ambiente mais seco nas bordas das florestas e áreas submetidas à extração de madeira, e o uso de fogo comumente empregado em sistemas agropecuários, aumentam a probabilidade de ocorrência de fogo florestal (Cochrane, 2003). Quando o desmatamento é reduzido ou a extração de madeira da floresta cessa em uma área, inicia-se o processo de regeneração florestal. O restabelecimento da floresta às condições originais dependerá do tempo de abandono, da intensidade de uso e da frequência e intensidade em que a área foi queimada (Barlow e Peres 2008; Joseph et al. 2010).

Como consequência do processo de degradação florestal, pode-se observar a ocorrência de efeitos em cadeia que levam à redução da diversidade biológica, modificação da composição florística e alterações estruturais na floresta (Tabarelli et al. 2004). Para caracterizar a intensidade do impacto da degradação florestal pode-se utilizar o conceito de padrão.

Padrão é definido como a disposição ou o arranjo de formas, de comportamentos, no qual se detectam regularidades (Vale et al. 2007). É utilizado para examinar relações, procurar repetições, que podem ser generalizadas, ou seja, aplicadas em um contexto mais amplo. A identificação de padrões é subsídio para a análise temporal da degradação florestal, pois possibilita observar as modificações da cobertura florestal no tempo (Lambin, 1999). Estas

sucessivas transições da cobertura florestal, medidas no tempo, são conhecidas como trajetórias.

O impacto da extração de madeira deixam marcas características associadas a solo exposto, vegetação secundária, árvores mortas caídas e em pé, árvores danificadas, cicatriz de fogo florestal, manchas florestais inalteradas, pátios de estoque de madeira, trilhas de arraste (Matricardi et al., 2010). Para caracterizar este complexo mosaico de feições, faz-se necessário o uso de técnicas que permitam ter uma visão global do processo. Neste contexto, a análise baseada em células, que são polígonos de desmatamento agregados em unidades maiores, é mais adequada do que a baseada em objetos (polígonos de desmatamento) (Azeredo et al., 2008), pois cada célula, e não um único objeto no espaço, torna-se a unidade de análise que será associada a um padrão de Degradação Florestal.

Korting et al. (2008) desenvolveu um sistema de mineração de dados espaciais denominado *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA). Os sistemas de mineração de dados usam algoritmos que exploram os dados e descobrem padrões de interesse do usuário. O GeoDMA apresenta o diferencial, em relação aos outros algoritmos, de utilizar diferentes formatos de dados de entrada, incluindo grade celular. Este aspecto torna este sistema adequado à análise de padrões associados à Degradação Florestal, já que a degradação é caracterizada por um mosaico de feições e não por um único elemento espacial e espectral.

Neste contexto, este estudo tem o objetivo de utilizar a abordagem orientada a células para criar e classificar padrões de degradação florestal, de acordo com o nível de perturbação da floresta. Posteriormente, estes padrões foram utilizados para análise da dinâmica de cobertura da terra na região.

2. Área de Estudo

Este estudo foi desenvolvido em São Félix do Xingu, município localizado no sudoeste do estado do Pará (Figura 1). Este município está localizado em uma das novas frentes de expansão da agropecuária e da indústria da madeira na Amazônia (Becker, 2001). São Félix do Xingu tem registrado as maiores taxas de desmatamento nos últimos 10 anos, segundo os dados oficiais (INPE, 2012). A história de ocupação na região pode ser atribuída à borracha e à exploração de mogno, mineração, pecuária e assentamentos rurais privados e públicos (Escada et al., 2005).

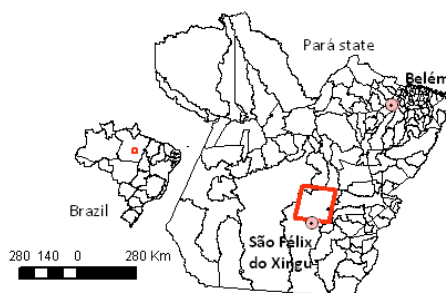


Figura 1. Área de estudo: São Félix do Xingu, Estado do Pará

3. Métodos

Este trabalho foi executado seguindo as seguintes etapas: 1) mapeamento da Degradação Florestal em imagens orbitais; 2) definição de tipologia associada à degradação florestal; 3) classificação de padrões utilizando técnicas de mineração de dados com o GeoDMA (Korting, 2008); 4) avaliação dos mapas gerados e análise de resultados; 5) análise de trajetórias.

3.1 Mapeamento da Degradação Florestal

A detecção da Degradação Florestal foi realizada em imagens Landsat/TM (30m), das datas 06/08/2000, 30/07/2003, 10/08/2007, 03/09/2009, disponíveis no site da Divisão de

Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dgi.inpe.br/>). As bandas originais da imagem Landsat foram transformadas em imagens fração, resultante do modelo linear de mistura espectral (MLME). O MLME visa estimar a proporção das componentes solo, vegetação e sombra, para cada pixel da imagem, a partir da resposta espectral nas diversas bandas, gerando as imagens-fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991). A imagem fração solo foi utilizada como base para o mapeamento por destacar as evidências da degradação florestal. O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

$$r_i = a * vege_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i,$$

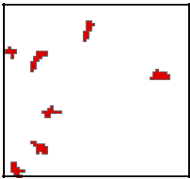
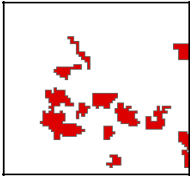

onde r_i é a resposta do pixel na banda i da imagem; a , b e c são proporções de vegetação, solo e sombra/água que compõem o pixel; $vege_i$, $solo_i$ e $sombra_i$ correspondem as respostas espectrais de cada uma das componentes citadas; e_i é o erro de estimação intrínseco para cada banda i .

A máscara do histórico de desmatamento, disponibilizado pelo Programa PRODES (Programa de cálculo do Desflorestamento da Amazônia), do INPE, foi utilizada para evitar que desmatamentos antigos, sob a forma de corte raso, fossem indicados como degradação florestal. O PRODES mapeia, desde a década de 80, o desmatamento sob corte raso de áreas de tamanho igual ou superior a 6,25 hectares (INPE, 2012).

3.3 Padrões de Degradação Florestal

Como visto, a Degradação Florestal é um processo gradativo, no qual se observa a perda parcial e contínua da cobertura florestal, com o conseqüente aumento da proporção de solo exposto. Considerando esta característica do processo, foi estabelecida uma tipologia contendo quatro classes de cobertura da terra, de acordo com o nível de perturbação (Tabela 1): Floresta Intacta consiste em florestas maduras e não perturbadas; b) Degradação Florestal Inicial consiste em algumas pequenas clareiras isoladas; c) Degradação Florestal Moderada consiste em clareiras de densidade intermédia. Áreas queimadas podem ser encontradas; d) Degradação Florestal Avançada descreve áreas onde clareiras são predominantes, mas ainda podem ser encontrados remanescentes de floresta intacta. Áreas queimadas também podem ser encontradas.

Tabela 1: Padrões de degradação florestal progressiva

| Tipo | Padrões | Descrição |
|----------|--|---|
| Inicial |  | <ul style="list-style-type: none"> - Pequenas manchas - Manchas isoladas - Baixa densidade |
| Moderado |  | <ul style="list-style-type: none"> - Manchas pequenas a média - Manchas próximas - Média densidade |
| Avançado |  | <ul style="list-style-type: none"> - Alta densidade - Manchas médias e grandes - Manchas agrupadas |

3.4 Classificação - Geographical Data Mining Analyst (GeoDMA)

Os mapas temáticos da Degradação florestal progressiva foram integrados em um espaço celular através do *plugin* de preenchimento de células do TerraView 4.1, nas células de tamanho de 1km². O *plugin* de preenchimento de células possibilita calcular valores para atributos de tabelas associadas a planos de informação do tipo celular (Aguiar et al., 2008).

A etapa seguinte consistiu no processo de mineração de dados através do aplicativo GeoDMA, desenvolvido por Korting et al (2008). O GeoDMA permite a associação dos objetos segmentados às tipologias pré-definidas pelo usuário, através de um conjunto métricas da paisagem. Cada objeto é descrito pelo valor das métricas, selecionadas pelo classificador como o melhor sub-conjunto capaz de separar e definir grupos presentes na tipologia.

Foram selecionadas amostras nas imagens que correspondiam aos tipos definidos na Tabela 2, que serviram como conjunto de treinamento para a classificação. Cada célula foi descrita por atributos numéricos, utilizando métricas da ecologia da paisagem, incluindo métricas de forma, área e densidade. Em seguida, o conjunto de treinamento foi utilizado para construir um classificador de árvore de decisão, realizado pelo algoritmo C4.5, em que cada célula é rotulada a um dos padrões definidos pelo usuário (Quinlan, 1993). O usuário pode escolher o conjunto mais adequado de métricas de paisagem para cada situação, mas o resultado da árvore de decisão é automaticamente definido pelo algoritmo.

3.5 Análise de Trajetórias

Foram definidos três tipos de trajetórias: trajetórias do corte raso, que consiste na rápida conversão da floresta. Neste estudo, o intervalo de tempo entre as imagens analisadas foi de três anos; trajetórias da Degradação Florestal, que consiste na conversão de longo prazo da floresta, ou seja, mais de três anos; e trajetórias de não-mudança, que consistem de células classificadas como corte raso ou floresta durante toda a série temporal analisada.

3. Resultados e Discussão

3.1 Reconhecimento de Padrões

A Figura 3 mostra a árvore de decisão para os padrões de degradação Florestal definidos na Figura 2. O algoritmo selecionou automaticamente a métrica Área (Km^2), definida pela área interna de objetos contidos na célula, para compor a árvore de decisão. O nó raiz da árvore de decisão distingue os menores objetos ($\leq 0,07$) (floresta e degradação inicial) dos objetos maiores ($> 0,07$) (degradação moderada e avançada). Um segundo atributo numérico, com base na mesma métrica de Área, foi selecionado para distinguir os seguintes padrões: ausência de perturbação (≤ 0), Degradação inicial (> 0 e $\leq 0,07$), Degradação moderada ($> 0,07$ e $\leq 0,4$) e Degradação Avançada ($> 0,4$). Obteve-se um acerto geral de 94%, com o conjunto de teste (Tabela 1). Os maiores erros foram detectados entre as classes degradação inicial e moderada.

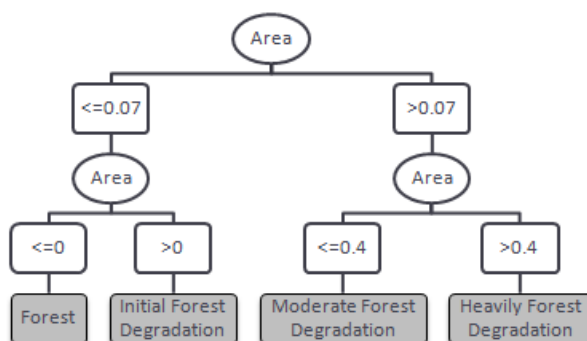


Figura 2. Árvore de decisão para determinar Floresta primária e degradada

Tabela 1. Matriz de confusão da classificação

| Tipologia | Floresta | Degradação florestal inicial | Degradação florestal moderada | Degradação florestal avançada | Acurácia (%) |
|-------------------------------|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Floresta | 29 | 1 | 0 | 0 | 96 |
| Degradação florestal inicial | 0 | 42 | 4 | 0 | 91 |
| Degradação florestal moderada | 0 | 1 | 22 | 1 | 91 |
| Degradação florestal avançada | 0 | 0 | 1 | 34 | 97 |
| | | | Total | 127 | 94 |

3.2 Classificação da Degradação Florestal

A Figura 4 mostra a evolução da degradação florestal em São Félix do Xingu, entre os anos de 2000 e 2009. Em 2000, 40,1% da área foi classificada como floresta, 30,08% como corte raso e 7,37% como degradação florestal. O padrão de degradação florestal inicial foi predominante, atingindo 5,68%, seguido pelos padrões de degradação florestal moderada (1,63%) e avançado (0,05%) (Figura 3). Em 2009, a área de floresta foi reduzida em 10% e a área de corte raso aumentou em 16,35%. A degradação florestal atingiu 0,41% na região, predominando o padrão de degradação florestal inicial (0,35%). Algumas células sob degradação florestal foram abandonadas, dando início ao processo de regeneração florestal. Essas células foram classificadas como floresta, principalmente devido às diferenças sutis entre floresta primária e secundária em imagens de resolução moderada (30m).

De acordo com a análise multitemporal, a maioria das áreas com indícios de atividade madeireira atingiu a fase final (corte raso) em poucos anos, ou seja, até três anos. Como resultado, a trajetória de corte raso foi predominante na região, em toda a série temporal. A Figura 5 destaca a dinâmica do corte raso e da degradação florestal na região de São Felix do

Xingu. Na década de 90, a intensa exploração de madeira culminou na extinção local de mogno (Castro, 2005). Atualmente, esta rápida transição da floresta para corte raso é o resultado da combinação entre demanda do mercado e poucos recursos madeireiros. A trajetória de não-mudança foi caracterizada principalmente pelo padrão de corte raso, e não pela conservação da floresta no período analisado.

A extração de madeira na região de São Félix do Xingu não foi realizada seguindo um plano de manejo florestal. Durante a análise, não foi possível identificar estradas, trilhas de arraste e pátios de estoque de madeira, elementos típicos de áreas sob exploração de madeira. Embora estes elementos estejam presentes também em atividades ilegais, a sua ausência indica a falta de planejamento das operações de retirada de madeira.

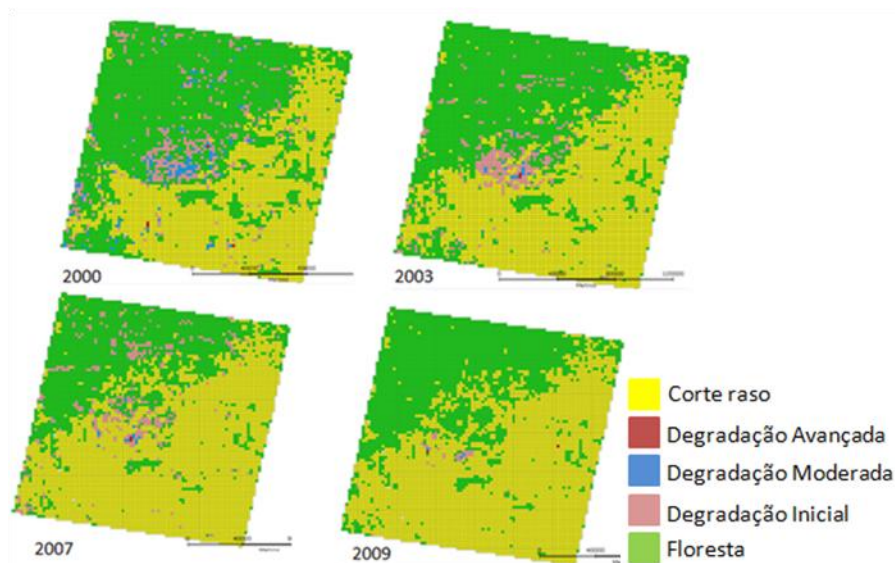


Figura. 3. Análise multitemporal da cobertura da terra em São Félix do Xingu (PA)

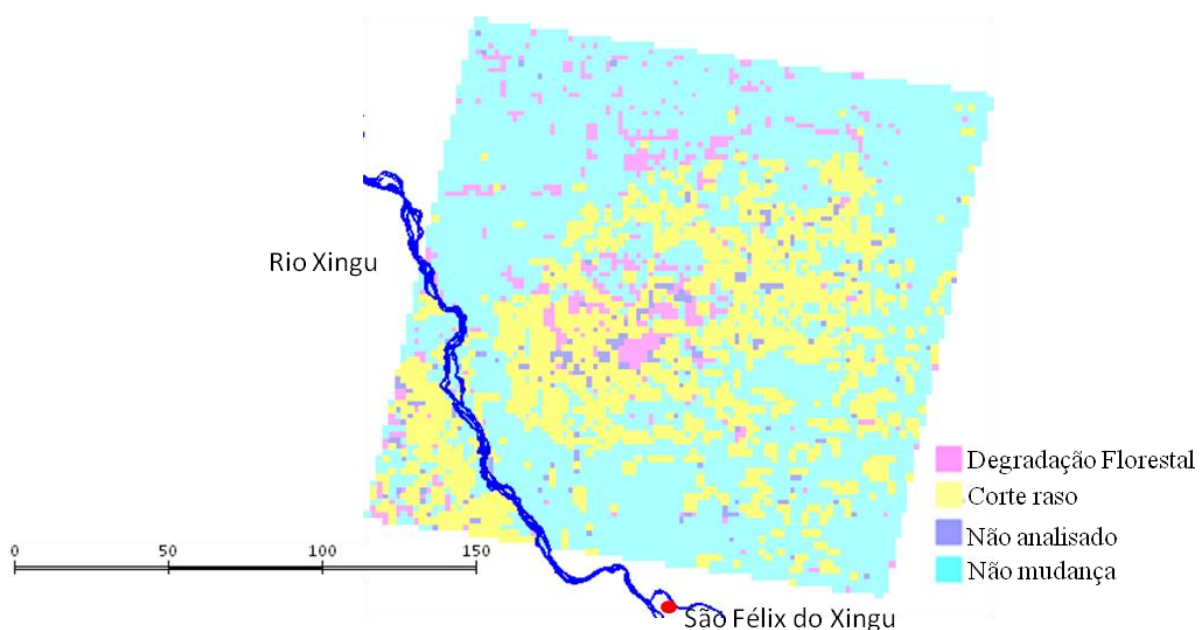


Figura. 4. Trajetórias da degradação florestal e corte raso em São Félix do Xingu (PA)

4. Conclusões

GeoDMA é uma ferramenta eficaz para a detecção e classificação de padrões de degradação florestal. A classificação com base em células, disponível neste algoritmo,

mostrou ser útil para determinar padrões de degradação florestal por agregar elementos espaciais importantes para sua caracterização. Erros detectados neste trabalho foram causados por restrições de resolução espacial e espectral das imagens Landsat (30m), e não pelas regras selecionadas para realizar a classificação. A construção da base de dados celular com resolução espacial de 1km² foi adequada para representar os padrões de degradação florestal da região. No entanto, recomenda-se que futuros estudos analisem a influência da resolução espacial das células nos resultados obtidos.

O intervalo de tempo de três anos entre os dados da série não foi apropriado para representar a dinâmica de ocupação da terra. A rápida transição entre a floresta e corte raso requer uma análise de base anual, para melhor determinar e detectar a evolução dos padrões de degradação florestal e suas trajetórias.

A tipologia definida neste trabalho reflete o contexto econômico, social e histórico da área de estudo. Portanto, padrões distintos ou complementares àqueles detectados neste trabalho podem ser reconhecidos em outras regiões da Amazônia, e podem ser reconhecidos utilizando a abordagem baseada em grade celular.

5. Referências Bibliográficas

Aguiar, A.P., Andrade, P.R., Ferrari, P.G. **Plug-in de Preenchimento de Células**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

Azeredo, M.; Escada, M. I. S.; Câmara, G. Mineração de dados espaciais utilizando métricas de paisagem. São José dos Campos: INPE, 2008.

Barlow, J.; Peres, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, v. 363, n. 1498, p. 1787-94, 27 maio. 2008.

Becker, B. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, 2001

Castro, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, 2005.

Cochrane, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913-9, 27 fev. 2003.

Cochrane, M. A. Skole, D.; Matricardi, E.; Barber, C.; Chomentowski, W. Exploração seletiva de madeira, fragmentação florestal e incêndios florestais: as implicações das interações entre esses fatores. In: Zarin, D.; Alavalapati, J.R.; Putz, F.; Schmink, M. (Org.). **As Florestas Produtivas dos Neotrópicos**. São Paulo: Editora Fundação Peirópolis, 2005, cap. 17, p. 391-408.

Escada, M. I. S., Vieira, I.; Kampel, S.; Araújo, R.; Veiga, J.; Aguiar, A.; Veiga, I.; Oliveira, M.; Pereira, J.; Carneiro, A.; Fearnside, P.; Venturieri, A.; Carriello, F.; Thales, M.; Carneiro, T.; Monteiro, M.; Câmara, G. Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 9-23, 2005.

INPE. Programa de Cálculo do Desflorestamento na Amazônia (PRODES). Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

Joseph, S.; Murthy, M.; Thomas, A. The progress on remote sensing technology in identifying tropical forest degradation: a synthesis of the present knowledge and future perspectives. **Environment Earth Science**, v. 64, p. 731-741, 2010

Korting, T.; Fonseca, L.; Escada, M.I.; Silva, F.; Silva, M.. GeoDMA - A Novel System for Spatial Data Mining. In: IEEE International Conference on Data Mining Workshops, 2008. **Anais...**, USA: IEEE Computer Society Washington. Artigos, p. 975-978. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4734031>>

Lambin, E. F. Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, p. 191-198, 1999.

Matricardi, E.; Skole, D.; Pedlowski, M.; Chomentowski, W.; Fernandes, L. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 1117-1129, 2010

Quinlan, J. R. C4.5: **Programs for Machine Learning**. San Mateo, CA: Editora: Morgan Kaufmann, 1993. p. 299

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, New York, v.29, p.16-20, 1991.

Tabarelli, M.; Silva, J.; Gascon, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419-1425, 2004

Vale, I.; Palhares, P.; Cabrita, I.; Borralho, A. **Os padrões no Ensino e aprendizagens da Álgebra**. Évora: SEM-SPCE, 2007. 9p.