

**MINERAÇÃO DE DADOS APLICADA NA IDENTIFICAÇÃO E CAUSAS DE
DESFLORESTAMENTO NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO, LESTE DA
FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS**

**DATA MINING APPLICATION ON THE IDENTIFICATION OF DEFORESTMENT
SPATIAL DISTRIBUTION CAUSES**

Rogério Galante Negri

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: rogerio.negri@ict.unesp.br

Ericson Hideki Hayakawa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

E-mail: ericson_geo@yahoo.com.br

Carlos Alberto Pires de Castro-Filho

Diretoria de Serviço Geográfico(DSG)

pirestilt@hotmail.com

Bruno Rodrigues do Prado

Geopixel – Soluções em Geotecnologia e TI

E-mail: bruno@geopx.com.br

RESUMO: O monitoramento ambiental gradativamente tem sido utilizado para acompanhar as ações antrópicas, como também tem auxiliado no gerenciamento e planejamento do uso e ocupação do espaço geográfico. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo utilizar técnicas de Mineração de Dados para identificar a distribuição espacial e a dinâmica temporal do desflorestamento em uma área na Amazônia Legal. Os materiais utilizados contemplam uma série temporal (1984 a 2007) de imagens LANDSAT-5/TM. Os procedimentos envolvem Processamento Digital de Imagens para geração de uma Matriz de Mudanças, que permite não só representar alterações na cobertura do solo ao longo da série temporal, como também identificar mudanças no padrão de desflorestamento. Ou seja, se o padrão de desflorestamento permaneceu com a extração de recursos naturais ou migrou para realização de atividades econômicas. Os resultados revelam alternâncias entre as classes analisadas (Floresta Primária, Regeneração e Solo Exposto) no intervalo do estudo. As principais dinâmicas verificadas foram o contínuo processo de desflorestamento e o aumento das áreas de solo exposto. Este último comumente associado a atividades econômicas ligadas à agropecuária. As áreas identificadas como de extração de recursos naturais encontram-se estabilizadas, mas de modo geral, tornam-se áreas de solo exposto, destinadas a agropecuária.

Palavras-chave: Mineração de Dados; imagens LANDSAT-5/TM; Desflorestamento; Amazônia.

ABSTRACT: Environmental monitoring has been gradually adopted to track human actions as helping in managing and planning the use and occupation of the geographic space. The objective of this study is using Data Mining techniques to identify the deforestation spatial distribution and temporal dynamics in an Amazon area. The materials used in this study contemplate a LANDSAT-5/TM temporal series (1984-2007) and the procedures involve the application of Digital Image Processing for generating the so called Changes Matrix. This matrix allows represent changes in the land cover in the temporal series, as well as identify changes in the deforestation pattern. The deforestation patterns considered in this study are natural resources extraction and deforestation for economic activities development. The results show alternations between the analyzed classes (Primary Forest, Regeneration and Bare Soil) within the analyzed temporal range. The main verified dynamics were the continuous process of deforestation and increased of bare soil areas. The increase of bare soil areas is associated to agriculture economic activities. Areas of natural resource extraction have been stabilized, and in general, becomes areas designed to agriculture.

Keywords: Data Mining, LANDSAT-5/TM images, Deforestation, Amazon.

INTRODUÇÃO

A denominada Amazônia Legal tem aproximadamente 5 milhões de km² e é coberta predominantemente pela densa floresta tropical. Atualmente esta região sofre com inúmeras modificações na cobertura da terra, representadas principalmente pelo desflorestamento, que seguem padrões de desenvolvimento socioeconômicos (Cardille e Foley, 2003). Desdobramentos desta conjuntura refletem em inúmeras discussões que envolvem temas como a redução da biodiversidade, os impactos sobre os ecossistemas locais, a degradação dos solos, as tensões sociais e as profundas alterações nos ciclos hidrológicos decorrentes do desflorestamento (Houghton et al., 2000; Fearnside, 2005; Vieira et al., 2005). Atenção também é dada na relação entre a retirada da cobertura vegetal e o impacto atmosférico, decorrente da emissão de gases do efeito estufa, com destaque para o dióxido de carbono (Moran et al., 2000; Rosenquist et al., 2003; Vieira et al., 2003).

Neste contexto, um crescente número de trabalhos visa identificar e monitorar as alterações na cobertura do solo da Amazônia (Houghton et al., 2000; Moran et al., 2000; Fearnside, 2005). Estes estudos contribuem não só na compreensão das dinâmicas da área, como também podem auxiliar em ações de planejamento de uso e ocupação. Adicionalmente permitem também inferir, de forma quantitativa e qualitativa, sobre os prejuízos ambientais, prever situações futuras e estruturar planos de controle e fiscalização, dentre outras ações. Projetos como o Programa de Estimativa do Desmatamento da Amazônia (PRODES) (INPE,

2012b) e o Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) (INPE, 2012a) são exemplos de trabalhos desse caráter.

Dada a dimensão da região amazônica, os trabalhos comumente baseiam-se na utilização de dados de sensoriamento remoto (Fearnside, 2005). Com o constante avanço tecnológico em sensoriamento remoto, houve o acréscimo no número de fontes de dados e demais variáveis utilizadas para monitorar e entender o processo de desflorestamento. Embora isto contribua para o monitoramento ambiental amazônico, pois melhora a tradução e compreensão da realidade, de outro lado, a contínua aquisição produz aglomerados de dados que podem dificultar não só a sua manipulação como também a interpretação e extração de informações. Segundo Silva (2006), dada a gama de dados disponibilizados, especialmente os de sensoriamento remoto, tem-se falhado na obtenção de informações dos dados coletados. Com isso, faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de métodos e ferramentas que permitam organizar e analisar os dados de forma automática e otimizada (Fayyad et al., 1996), a fim de obter informações de forma mais eficientes e reais da dinâmica que envolve o desflorestamento da Amazônia.

Neste contexto, as técnicas de Mineração de Dados aplicados aos dados de sensoriamento remoto podem ser uma importante ferramenta na detecção de dinâmicas espaciais na região amazônica. Destaca-se que a Mineração de Dados pode ser aplicada para os mais variados, visando a obtenção de informações úteis de um conjunto de dados coletados (Larose, 2005). A partir da combinação de conceitos de aprendizagem de máquina, estatística, banco de dados e visualização de dados, a Mineração de Dados pode contribuir na identificação de padrões em grandes bases de dados (Cratochvil, 1999). Este processo usualmente é automático ou semiautomático e o padrão identificado deve permitir a descoberta de relacionamentos entre dados e fornecer subsídios para que possa ser feita uma previsão de tendências futuras baseada no passado (Dias, 2001). Diante disto, este trabalho tem por objetivo aplicar os princípios de Mineração de Dados para identificar a distribuição espacial e a dinâmica temporal do desflorestamento em uma área na Amazônia Legal.

Geociências e mineração de dados

Atualmente, diversos campos da atividade humana têm recorrido às informações geoespaciais. Um exemplo comum são as imagens da superfície terrestre obtidas por sensoriamento remoto. Com os recentes avanços tecnológicos em sensoriamento remoto, é

cada vez maior a quantidade de fontes de informação sobre a Terra. Este número crescente de fontes de informação associado à aquisição contínua de dados resulta na geração de volumosos aglomerados de dados, introduzindo conseqüentemente dificuldades em sua manipulação, interpretação e extração de informações úteis. Com a finalidade de lidar com tal problemática, são empregadas técnicas de Mineração de Dados.

Basicamente, técnicas de Mineração de Dados consistem na exploração de grandes massas de dados a procura de padrões de interesse. Segundo Silva (2006), a Mineração de Dados é composta de modo geral pelas etapas: definição do tipo de conhecimento a descobrir, seleção de dados alvo, pré-processamento, transformação, mineração destes dados, interpretação de padrões e implantação do conhecimento descoberto. Em Hsu et al. (2002) são discutidas questões a respeito da organização das etapas de Mineração de Dados quando aplicadas à imagens. As imagens da base de dados são inicialmente pré-processadas, seguidas por uma etapa de transformação e extração de atributos de interesse ao estudo (Figura 1). Uma vez que estas etapas foram realizadas, procede-se com a “mineração” das informações a fim de obter conhecimento sobre os dados. Os resultados deste último processo são interpretados, o que possibilita ao fim consolidar o conhecimento.

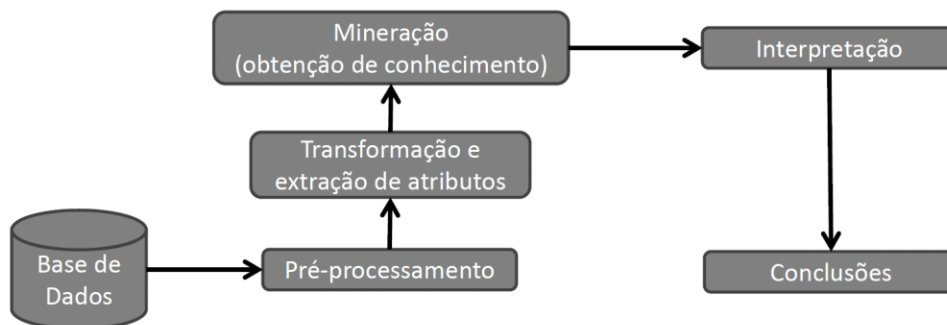


Figura 1. Organização das etapas de Mineração de Dados em imagens.

Fonte: Adaptado de Hsu et al. (2002).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Belterra – PA, a Leste da Floresta Nacional do Tapajós, no Estado do Pará (Figura 2), e abrange uma área aproximada de 484 km². A BR-163 é a principal rodovia que corta a área, ligando Cuiabá – MT a Santarém – PA. Esta região é caracterizada por clima quente e úmido. A temperatura máxima anual varia entre 31 e 33°C enquanto a mínima varia entre 24 e 25°C. O índice de precipitação pluviométrica

anual varia entre 1800 e 2800 mm, com nítida divisão na distribuição das chuvas, sendo abundante no primeiro semestre e com baixa intensidade no restante do ano.

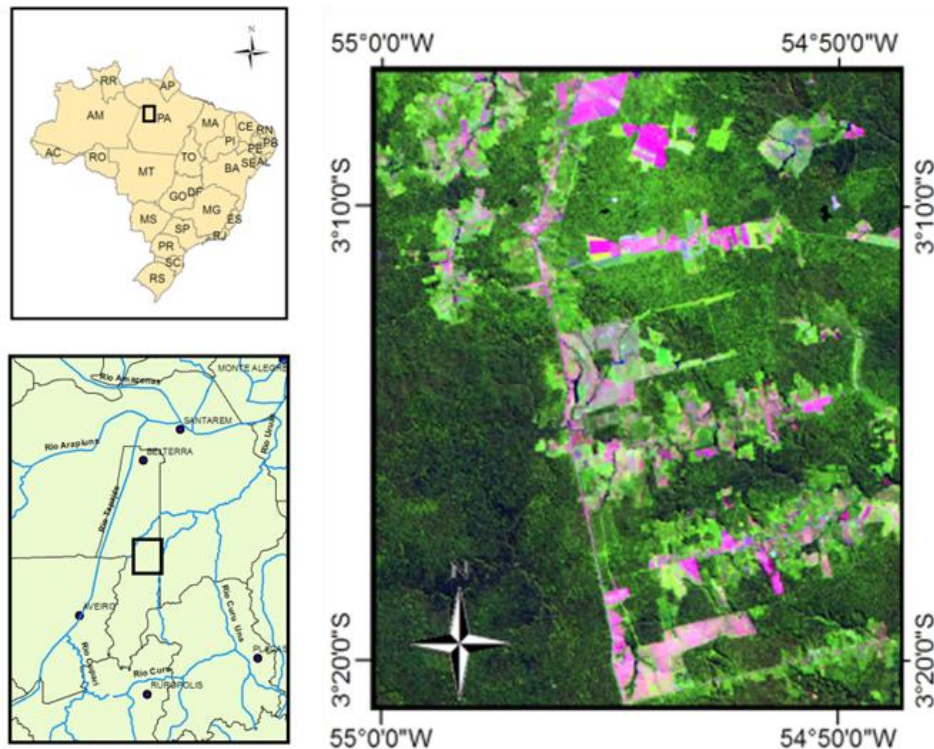


Figura 2. Imagem LANDSAT-5 TM da área do estudo, datada de 21 de junho de 2007. Composição colorida R(5)G(4)B(3).

Imagens de sensoriamento remoto

Os dados utilizados neste trabalho consistem de imagens provenientes do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT-5. As imagens foram obtidas gratuitamente do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Universidade de Maryland (<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>). As imagens possuem resolução espacial e radiométrica de 30 m e 8 *bits* respectivamente. Sua faixa de imageamento é de 185 km × 185 km com tempo de revisita (resolução temporal) de 16 dias. Devido à sua resolução espacial e temporal, este sensor é comumente utilizado em estudos de monitoramento e caracterização da floresta amazônica, a exemplo de projetos consolidados como o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélites (PRODES). As imagens utilizadas compreendem uma série temporal entre os anos de 1984 a 2007 (Tabela 1). Salienta-se que,

devido à presença de nuvens nas imagens datadas dos anos de 1985, 1986, 1988, 1994 e 2002 não foi possível contemplar os respectivos anos na análise do trabalho.

Tabela 1. Série temporal de imagens LANDSAT-5 TM selecionadas para estudo.

Data das Imagens: Dia/Mês/Ano (órbita/ponto 227/62)				
21/06/84	25/06/91	08/07/96	05/09/00	01/07/05
30/06/87	29/07/92	27/07/97	30/07/01	21/08/06
22/08/89	29/05/93	27/07/98	29/08/03	21/06/07
09/08/90	04/06/95	02/08/99	31/08/04	

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos fundamentam-se nos conceitos de Mineração de Dados (Santos et al., 2005), sendo a identificação da distribuição espacial das causas do desmatamento baseada nas etapas de *preparação da base de dados e definição de regras para descoberta do conhecimento*.

Preparação da base de dados

A preparação da base de dados consistiu em: i) *pré-processamento*, ii) *minimização dos erros na base de dados* e, iii) *definição da Matriz de Mudanças*. O pré-processamento consistiu basicamente de duas etapas: i) *correção geométrica das imagens* e ii) *classificação supervisionada*. A correção geométrica foi realizada em todo o conjunto de imagens, obtendo-se pontos homólogos em uma imagem previamente georreferenciada. A imagem adotada como referência é proveniente do projeto *Zulu*, desenvolvido pela Universidade de Maryland (NASA, 2011). Adotou-se o polinômio de primeiro grau para a correção geométrica, além da seleção de pelo menos 15 pontos de controle em cada imagem, a fim de garantir um baixo erro médio quadrático (RMS). Após a correção geométrica, procedeu-se com a redução da dimensionalidade, selecionando-se uma subárea de trabalho para reduzir o tempo de processamento e evitar sobrecarga no sistema computacional.

A classificação supervisionada foi aplicada em todas as imagens da série temporal. As classes consideradas foram: Floresta Primária (Floresta sem nenhum tipo de alteração antrópica), Regeneração (áreas que sofreram desflorestamento parcial, mas que se encontra em recomposição), Solo Exposto (áreas que sofreram desflorestamento do tipo corte-raso,

comumente utilizado para fins agropecuários), Nuvem e Sombra (Figura 3). A classificação supervisionada analisa cada pixel da imagem e os associa as classes previamente definidas pelo usuário (Mather, 1999). Neste trabalho optou-se pela utilização do Classificador de Máxima Verossimilhança, que segundo Richard e Jia (2005), é amplamente aplicado em imagens de sensoriamento remoto devido à sua simplicidade, baixo custo computacional e capacidade de gerar bons resultados. A seleção das amostras de treinamento que representassem as classes de interesse baseou-se principalmente na utilização de chaves de interpretação visual.

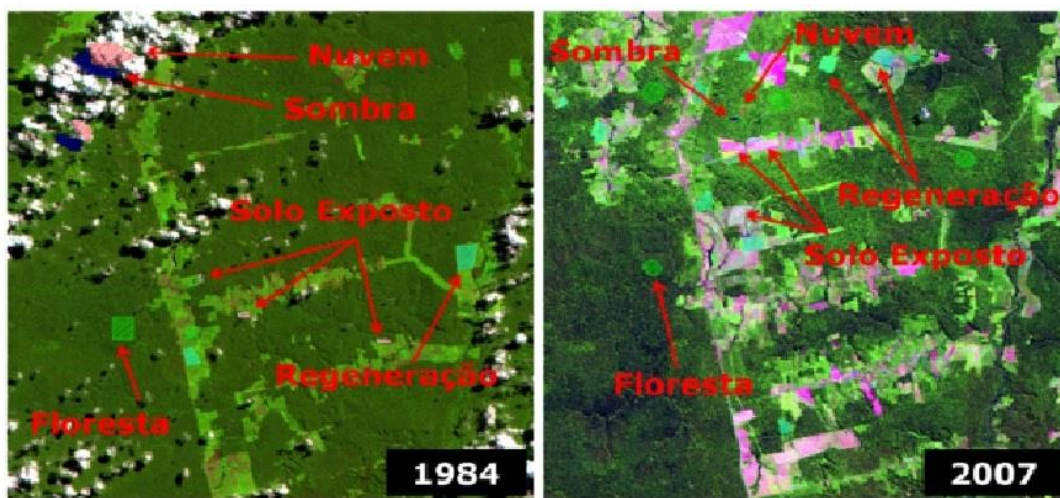


Figura 3. Imagens com amostras de treinamento para as cenas dos anos de 1984 e 2007.

A fim de reduzir possíveis falhas e distorções presentes no processo de correção geométrica e a quantidade de dados redundantes, procedeu-se com a redução da resolução espacial das classificações obtidas. Aplicou-se uma grade de reamostragem sobre as classificações com células de dimensão 3×3 pixels, transformando a resolução espacial de 30 para 90 metros. A classe do pixel resultante da reamostragem foi definida pela moda estatística dos pixels internos à grade de 3×3 pixels. Este procedimento, baseado nas etapas previstas por Hsu et al. (2002) quanto pré-processamento da base de informação, visa melhorar a consistência posicional entre os dados, o que otimiza por sua vez a visualização das possíveis mudanças de cada região.

A presença de intervenientes atmosféricos e sombra impediram a obtenção de informações referentes à cobertura da terra em setores de algumas imagens. Este problema foi contornado com a utilização de informações de imagens datadas de períodos anteriores. Com

isso, os *pixels* classificados como Nuvem ou Sombra foram substituídos por suas respectivas classes de cobertura do solo verificadas na imagem de data anterior. Este processo foi realizado em ordem cronológica, considerando-se que no instante anterior à primeira imagem da série temporal todos os *pixels* são classificados como Floresta Primária. Ao final dos procedimentos de construção da base de dados descritos anteriormente, tem-se a obtenção da Matriz de Mudanças (Figura 4). Neste estudo a matriz resultante possui 283×283 células, onde cada célula é um vetor que representa um tipo de classe de uso do solo em um dado instante da série temporal.

Salienta-se que em alguns casos o classificador apresentou dificuldade em diferenciar as classes de Regeneração e Floresta Primária. Isto se deve a semelhança nos valores de níveis de cinza dessas duas classes. Para contornar este comportamento, as áreas classificadas como Floresta Primária, classificadas anteriormente como Regeneração, foram redefinidas como Regeneração. Este procedimento foi adotado porque a série temporal abrange um período de somente 23 anos. Entende-se que não há tempo suficiente para que uma área de Regeneração voltasse a apresentar a complexidade de uma Floresta Primária.

Definição de regras para descoberta de conhecimento

Em Mineração de Dados, as Regras de Produção são comumente empregadas para representação do conhecimento (Romão, 2000). Regras de Produção são estruturas do tipo "Se-Então", isto é, "Se" uma dada condição é satisfeita, "Então" uma dada ação pré-determinada é realizada. Neste trabalho, este mecanismo foi utilizado para que cada célula da Matriz de Mudanças fosse associada uma justificativa às possíveis mudanças de uso do solo que ocorreram na série temporal. Para identificar as possíveis causas de desflorestamento, definiram-se duas regras principais: (i) desflorestamento condicionados à extração de recursos naturais, e (ii) desflorestamento justificados pela realização de atividades econômicas. Além dessas, há também as áreas de Floresta Primária e as Indeterminadas. As regras foram definidas empiricamente e são descritas a seguir:

- **Áreas de floresta nativa:** áreas que apresentaram como cobertura do solo a classe Floresta Primária, não havendo modificações em nenhum instante da série temporal;

- **Extração de recursos naturais:** áreas que tiveram sua cobertura vegetal extraída parcialmente (desflorestamento seletivo), e passaram a ser classificadas como Regeneração durante sucessivas observações ao longo da série temporal. Para caracterizar tais áreas foi

considerado que as mesmas devem apresentar no mínimo cinco observações consecutivas como Regeneração;

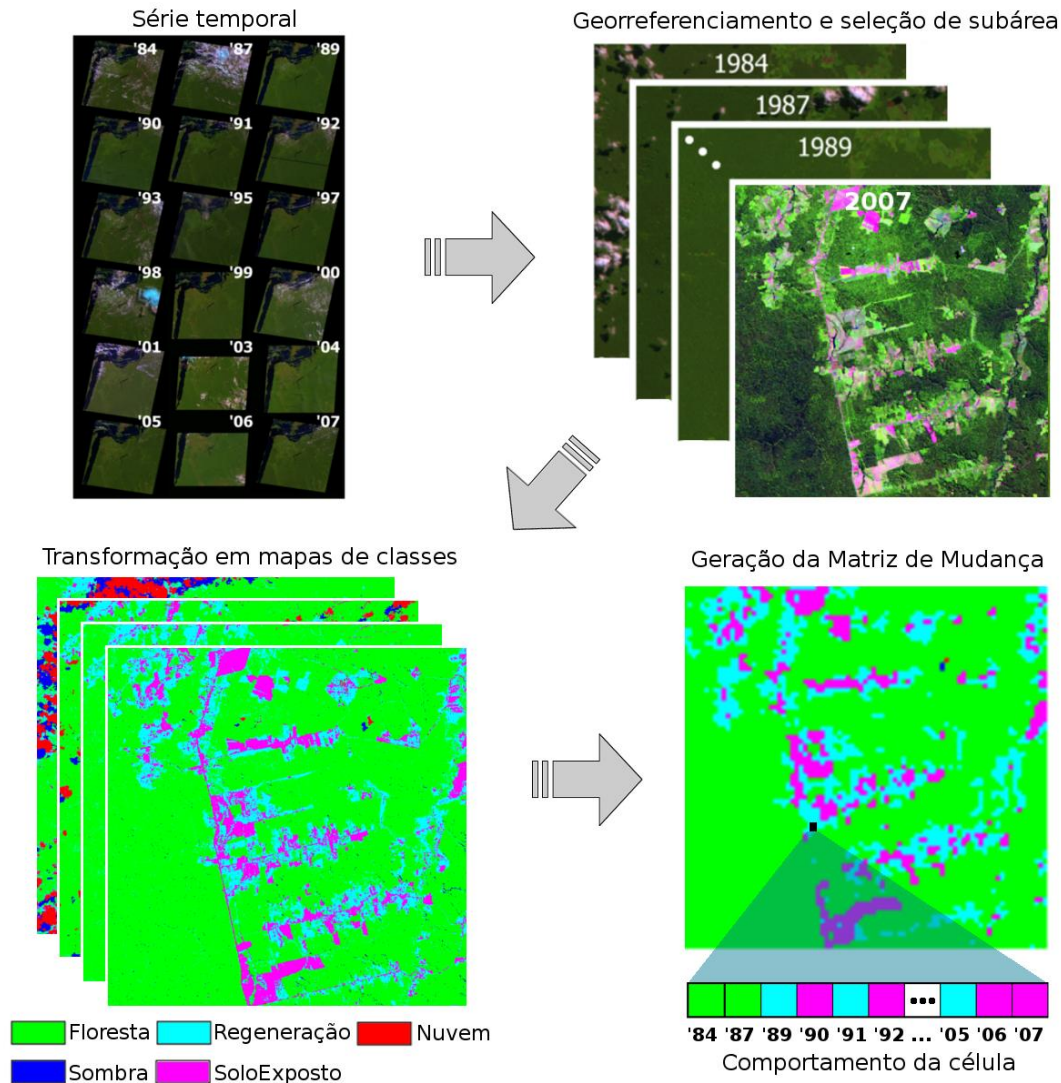


Figura 4. Resumo das etapas que abrangem a preparação da base de dados até a representação de uma célula da Matriz de Mudanças. No exemplo acima, onde se tem o comportamento da célula, nota-se que nos anos de 1984 e 1987 a classe Floresta Primária é representada na célula em destaque. Contudo, em 1989 a mesma célula apresenta a classe de Regeneração. Em 1990 a célula indica a presença da classe Solo Exposto e assim tem-se a descrição para todos os anos para aquela determinada célula de 90×90 m. Optou-se por não utilizar o termo “*pixel*” ao elemento de menor resolução espacial da Matriz de Mudanças.

• **Áreas de atividades econômicas:** são áreas que ao longo da série temporal foram identificadas como Solo Exposto ou que alternam como Solo Exposto e Regeneração. Trata-se de áreas onde o desflorestamento é do tipo corte-raso. Tal comportamento evidencia a sua utilização para atividades econômicas, como a agropecuária. Neste caso, a regra proposta para caracterização das regiões onde são realizadas atividades econômicas exige dois parâmetros: o número mínimo de ocorrências da classe Solo Exposto, que será igual a três, e o intervalo máximo entre duas observações desta classe, que será igual a dois;

• **Indeterminadas:** são áreas cujo comportamento não é modelado por nenhuma das regras apresentadas anteriormente.

Ressalta-se que, com exceção dos processos de georreferenciamento e seleção das amostras de treinamento, as etapas de *preparação da base de dados* e a *definição das regras para descoberta do conhecimento* foram realizadas por um sistema desenvolvido em linguagem IDL 7.1, especificamente para o propósito deste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção da Matriz de Mudanças a partir da classificação supervisionada da série temporal das imagens provenientes do satélite LANDSAT-5/TM permitiu identificar a dinâmica temporal do tipo de uso da terra na área do estudo. Embora considerando apenas as classes de Floresta Primária, Regeneração e Solo Exposto, observaram-se como no intervalo de 1984 a 2007 houve significativas alternâncias entre essas três classes na área de estudo. A partir da aplicação das regras de produção definidas sobre cada célula da Matriz de Mudança, obteve-se como resultado a evolução dos fenômenos modelados por tais regras.

No ano de 1984 as células da Matriz de Mudanças foram classificadas somente como área de *floresta nativa* ou *indeterminadas* (Figura 5). Isto se deve porque a classificação realizada para aquele ano é única (a própria de 1984), não havendo observações suficientes para atender as regras de produção referentes à *extração de recursos naturais* e *atividades econômicas*. Nota-se que o período de 1984 e 1989 e entre 1992 e 1998 houve o aumento das áreas classificadas como *indeterminadas*. De outro lado, as áreas de *floresta nativa* diminuíram gradativamente durante todo o período abordado, sendo o período de 1992 a 1996 o mais crítico, com redução percentual da floresta de 10% nesse intervalo de tempo. A partir do ano de 1997 nota-se que há uma sensível redução de desflorestamento em termos

percentuais, com pouco mais de 10% de redução no intervalo de 1997 a 2007. A partir do ano de 1989 nota-se uma queda no número de áreas *indeterminadas* concomitantemente ao crescimento nas áreas de *atividade econômica*. Posteriormente, no ano de 1990 há um aumento nas áreas de *extração de recursos naturais*, e a redução nas áreas *indeterminadas*. A partir do ano de 1997 as áreas *indeterminadas* estabilizam-se, mantendo-se nesta configuração até o ano de 2007. Esta condição pode estar associada ao surgimento de uma nova causa de mudança, e que não foi considerada neste trabalho. Salienta-se que em termos de área, esta nova classe ocupa cerca de 30% da área do estudo. Há também a possibilidade dessas áreas variarem no seu tipo de uso de modo que não atendessem às regras de produção definidas. A comparação das áreas de *extração de recursos naturais* e de *atividades econômicas* evidencia que enquanto o primeiro estabiliza-se a partir de 1991 em torno de 5%, as atividades econômicas tem crescimento linear até o ano de 2007, atingindo cerca de 15%.

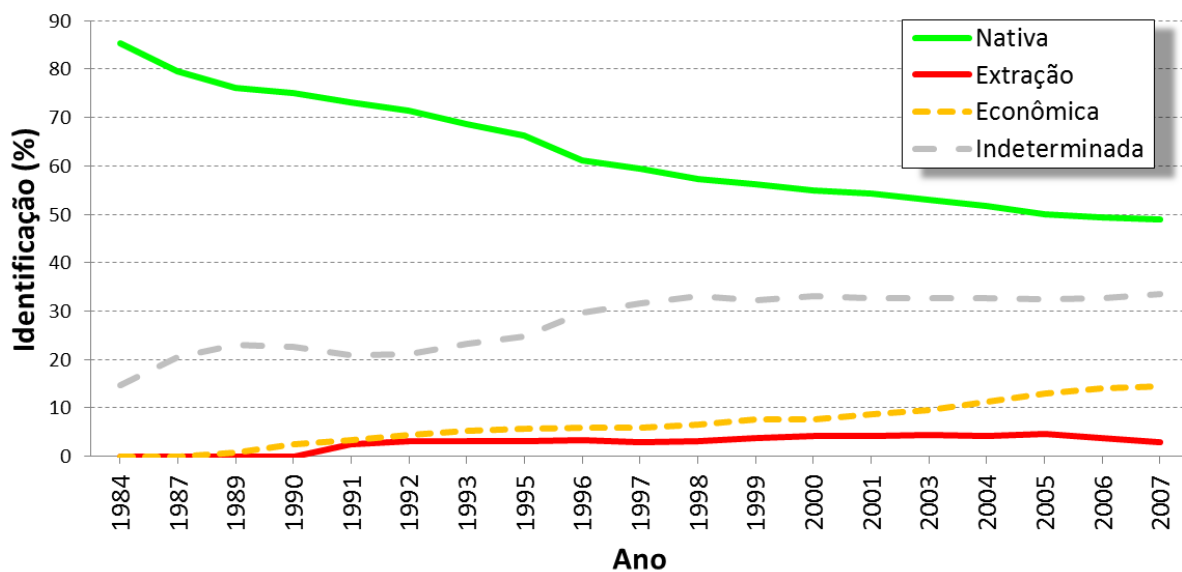


Figura 5. Evolução das causas de mudanças ao longo da série temporal. A avaliação em cada instante de tempo (ano) pelas regras de produção é baseada nos comportamentos atual e anteriores (anos passados).

A redução da área de *floresta nativa* é compatível com os dados disponibilizados pelo PRODES (Tabela 2). Embora os dados obtidos do PRODES representem o período de 2001 a 2007 e referem-se a todo o município de Belterra – PA, a área selecionada também apresenta redução na área desflorestada. Especialmente, entre 2005 e 2007 nota-se que a retirada de *floresta nativa* foi reduzida (ver Figura 5). Esta condição também é coerente com os dados do

PRODES, o qual sinaliza que o incremento de desflorestamento também foi menor nos anos entre 2005 e 2007 para o município de Belterra.

Tabela 2 – Dados obtidos do PRODES sobre desflorestamento, incremento de desflorestamento, floresta, nuvem, recursos hídricos e dados não determinados para o município de Belterra – PA, no período de 2000 a 2007.

Desflorestamento								
Período	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Área	672.5	701.3	720.3	740.9	768.5	772	777.5	789.1
Prop. (%)	15.27	15.92	16.36	16.82	17.45	17.53	17.65	17.92
Incremento de desflorestamento								
Período	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07
Área	0	28.9	18.5	21.3	27.3	3.3	5.5	11,8
Prop. (%)	0	0.66	0.42	0.48	0.62	0.07	0.12	0,27
Floresta até “Período”								
Área	3128.3	3099.5	3080.5	3059.9	3032.3	2754.6	2710.3	2879.5
Prop. (%)	71.03	70.38	69.95	68.48	68.85	62.55	61.54	65.38
Nuvem até “Período”								
Área	0	0	0	0	0	274.2	313	130.4
Prop. (%)	0	0	0	0	0	6.23	7.11	2.96
Hidrografia								
Área	603.2	603.2	603.2	603.2	603.2	603.2	603.2	603.2
Prop. (%)	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70%
Não observado em “Período”								
Área	0	0	0	0	0	0	0	1.8
Prop. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0.04
Área total do município: 4404 km ²								

Espacialmente, nota-se que o desflorestamento segue o padrão típico de ocupação da Amazônia, partindo comumente das estradas e rodovias presentes na região (Figura 6). A análise da classificação do ano de 2007 ilustra que a área de floresta nativa ainda preservada concentra-se principalmente na porção sudoeste da área, abrangendo parte da Floresta Nacional do Tapajós. Na porção oriental e centro norte da área do estudo, nota-se que o desflorestamento e a respectiva utilização para atividades econômicas e extração de recursos

são intensos. O padrão espacial das áreas de extração de recursos naturais é denotado por uma diversidade de fragmentos de diferentes extensões e distribuído em grande parte da área. Comumente os locais de extração de recursos margeiam as áreas de atividade econômicas, que por sua vez apresentam formas geométricas bem definidas, formando talhões de dimensões variadas. Comumente margeiam as estradas e rodovias da área e são utilizados para fins agropecuários. Possivelmente as áreas de extração de recursos representem áreas de desflorestamento seletivo, de pequenos agricultores ou de agricultura de subsistência. Com o passar dos anos, essas áreas podem-se tornar de atividade econômica, a partir da supressão de toda a floresta.

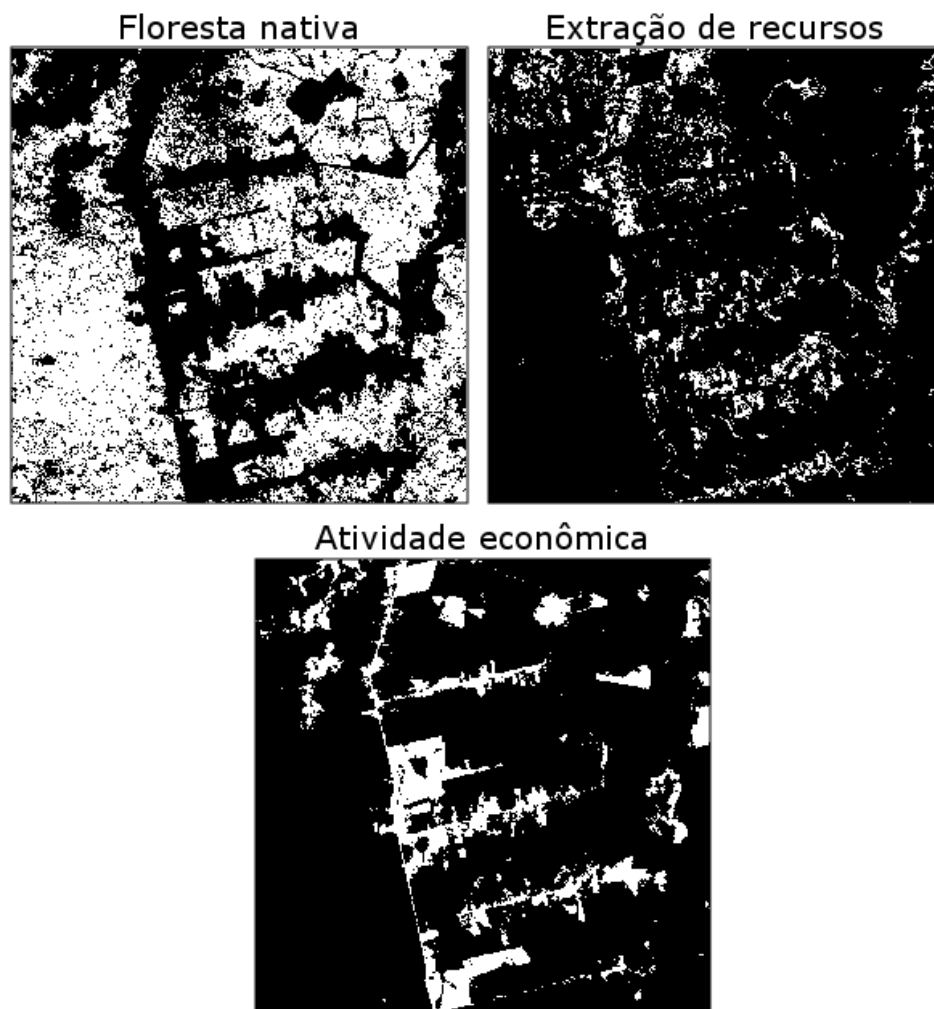


Figura 6. Distribuição espacial da Floresta Nativa, Extração de Recursos e Atividade Econômica para o ano de 2007. Em cada exemplo, as classes supracitadas são destacadas pela cor branca.

A forma espacial das áreas de extração de recursos concorda com os resultados obtidos por Saito et al. (2010), os quais analisaram padrões de desflorestamento na mesma área de abrangência. Segundo os autores, as formas de desflorestamento são lineares, localizadas comumente margeando estradas, assim como formas irregulares em pequenas dimensões espaciais devido à ocupação de pequenos produtores rurais para realização de atividades de subsistência. Comparando-se com as tipologias dos padrões de uso do solo proposta por Lambin et al. (2003), pode-se associar as formas das áreas de extração de recursos como difusa (geralmente associada a agricultura de subsistência). Já as áreas de atividade econômica podem ser associadas ao padrão de desflorestamento do tipo “espinha de peixe” (assentamentos relativamente planejados, que seguem as principais rodovias ou estradas da área) em conjunto com o padrão geométrico (relacionado a áreas de agropecuária mais intensa).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção da Matriz de Mudança e a aplicação das regras de produção definidas evidenciou a dinâmica temporal do tipo de uso da terra na área do estudo. Os resultados revelam alternâncias entre as classes analisadas (Floresta Primária, Regeneração e Solo Exposto) no intervalo de 1984 a 2007. As principais dinâmicas verificadas na área são contínuo processo de desflorestamento e o aumento das áreas de solo exposto. Este último comumente está associado a atividades econômicas ligadas à agropecuária. As áreas identificadas como de extração de recursos naturais encontram-se estabilizadas, mas de modo geral, como o passar dos anos tornam-se áreas de solo exposto, destinadas a agropecuária. A dinâmica verificada na área do estudo é compatível com os dados fornecidos pelo PRODES para o município de Belterra – PA.

De modo geral, a aplicação da Mineração de Dados mostrou-se eficaz para detecção dos fenômenos de interesse. Com a criação de novas regras, podem-se obter resultados que possibilitem maior compreensão da dinâmica espacial. Isso pode contribuir para identificar as causas para mudanças de uso do solo das regiões definidas como *indeterminadas* no presente trabalho. Salienta-se também que, embora não presente neste estudo, a realização de atividades de campo são fundamentais para verificar e validar os resultados obtidos, bem como, identificar o tipo do uso nas classes *indeterminadas*. Dessa forma, podem-se expor

fielmente os protagonistas das mudanças de uso do solo na região (fazendeiros, agricultores, madeireiras, dentre outros).

REFERÊNCIAS

- CARDILLE, J. A.; FOLEY, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment**, 2003, v. 87, n. 4, p. 551-562.
- CRATOCHVIL, A. **Data mining techniques in supporting decision making**. PhD Thesis, Universiteit Leiden, Germany. 1999.
- DIAS, M. M. **Um Modelo de Formalização do Processo de Desenvolvimento de Sistemas de Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Florianópolis, 2001.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. **American Association for Artificial Intelligence Magazine**, 1996, v.17.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, 2005, v. 1, n. 1, p. 113-123.
- HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE C. A.; HACKLER J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, 2000, v. 403, p. 301-304.
- HSU, W.; LEE, M.; ZHANG, J.; Image Mining: Trends and Developments. **Journal of Intelligent Information, Special Issue on Multimedia Data Mining**, 2002, v. 19, p. 7-23.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **DETER: Detecção do Desmatamento em Tempo Real**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acesso em: 10 jan. 2012a.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em:< <http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 22 fev. 2012b.
- LAROSE, D. T. **Discovering knowledge in data: na introduction to data mining**. John Wiley And Sons, Inc, 2005.

- MATHER P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: A Introduction**. John Wiley & Sons. 1999.
- MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; TUCKER, J. M.; SILVA-FORSBERG, M. C., MCCracken, S. FALESID, I. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia. **Forest Ecology and Management**, 2000, v. 139, p. 93-108.
- NASA. **NASA's Earth Science Enterprise Scientific Data Purchase Program**. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: 15 nov. 2011.
- ROSENQUIST, A.; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABE, M. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2007, v. 45, n. 11, p. 3307-3316.
- SAITO, E. A; KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S. Mineração em Dados Espaciais de Desmatamento do PRODES Utilizando Métricas da Paisagem: Caso de Estudo Município de Novo Progresso - PA. In: **III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**, 2010.
- SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. Integração de Imagens LANDSAT/ETM+ e CBERS-2/CCD para Detecção de Mudanças em Áreas da Amazônia SOB Domínio da Floresta de Transição. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2005, n.51, p.15-21.
- SILVA, M. P. S. **Mineração de Padrões de Mudança em Imagens de Sensoriamento Remoto**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), São José dos Campos, 2006.
- VIEIRA I. C. G; SILVA, J. M. C.; TOLEDO, P. M. Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados**, 2005, v. 19, n. 54, p. 153-164.

Artigo recebido em dezembro de 2013 e aceito para publicação em fevereiro de 2014.