

## Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil

Britaldo Silveira Soares-Filho

Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, 31270-900, MG, Brasil

britaldo@csr.ufmg.br

**Abstract.** This work analyzes the land-cover changes of Northern Mato Grosso, Brazil, in light of its recent history of occupation. Satellite imagery time series were employed to map and determine trends in the landscape dynamics within four time-periods, from 1977 to 1999, which represent of distinct phases of the region's history of occupation. Spatial determinants of the observed land-cover changes (deforestation, regrowth, and regrowth clearing) were established by calculating *Weights of Evidence* for a set of spatial variables. As a result, this study provides insight for modeling landscape dynamics of similar regions in the Amazon.

**Palavras-chave:** landscape dynamics, land-cover changes, Amazon; dinâmica de paisagem, modelagem de mudanças, cobertura do solo, Mato Grosso, Amazônia.

### 1. Introdução

A história da ocupação recente do norte do Mato Grosso, também conhecido como Nortão, inicia-se com a abertura da BR-163 através da região (Cuiabá-Santarém) no início da década de 70. O processo de ocupação que se segue caracterizou-se por um incrível dinamismo, acarretando no crescimento de sua população, praticamente do zero, para cerca de 360.000 habitantes, com mais de 70% desta população vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2000). Este estudo analisa a dinâmica de cobertura do solo de uma extensão dessa região - 19 000 km<sup>2</sup> (Fig. 1) -, compreendendo parte de 6 municípios (Terra Nova, Nova Guarita, Guarantã do Norte, Matupá, Peixoto de Azevedo e Novo Mundo), à luz de seus ciclos de ocupação. Ênfase é dada ao mapeamento e análise das mudanças de cobertura do solo através de quatro períodos do tempo, característicos dos ciclos de ocupação, englobando desde a segunda parte da década de 70 até ao final dos anos 90, em conjunto com uma análise dos determinantes espaciais dessas mudanças através da região. Resultados deste estudo podem ser empregados na construção de modelos de projeção da dinâmica de paisagem dessa região como de outras na Amazônia.

### 2. Métodos

#### Análise temporal

As transições de cobertura de solo analisadas foram três: desmatamento (floresta⇒desmatado), regeneração (desmatado⇒regeneração) e limpeza da regeneração (regeneração⇒desmatado). Para tanto foram obtidos mapas com três classes de cobertura do solo - a saber: 1) floresta, 2) desmatado e 3) regeneração - em cinco cortes no tempo. Imagens de satélite utilizadas incluem MSS de 1977 e TM-Landsat de 1986, 1991, 1994 e 1999 (cenas 226/67 e 227/67), portanto envolvendo quatro períodos de análise, indo desde o início da recente ocupação dessa região até o final da década de 90. No registro de imagens, primeiro, a imagem de 1994 foi georreferenciada, usando-se pontos de controle obtidos com GPS, e as outras referenciadas a ela.

A metodologia de processamento de imagens consiste em um algoritmo híbrido que combina resultado de classificação por máxima verossimilhança, calibrada com áreas de treinamento identificadas em campo, com o resultado de uma máscara de áreas de floresta obtida através do ajuste iterativo de limiares no histograma de dispersão de níveis de cinza das bandas de *brilho* e *umidade* obtidas pela transformação *Tasseled Cap* (Crist & Ciconne, 1984). Após a obtenção do mapa de classificação e exclusão das classes de água, cujo os pixels são ajustados para nulo, atribuí-se para a classe de floresta toda a área da máscara e o

restante dos pixels desse mapa são reclassificados para uma das três classes finais, sendo as classes de floresta e de regeneração para a regeneração e o restante para o desmatado.

O mapeamento da classe de regeneração requer a definição de um limiar, no caso somente inferior, haja vista que sua separação com a floresta primária é feita com base multitemporal. Nesse sentido, separa-se a regeneração dos diversos tipos de pastagens (pasto reservado, pastagem em uso, pastagem degradada ou abandonada), considerando a resposta espectral de sítios onde os processos de regeneração já desenvolveram uma vegetação arbustiva acima de 1 metro de altura com moitas coalescentes (Fig. 2). Também como a regeneração pode ser confundida espectralmente com pastagens bem desenvolvidas, células com baixas probabilidades a posteriori, geradas pelo classificador de máxima verossimilhança para essa classe, foram zeradas, optando-se por privilegiar a classe de pastagem no *locus* de confusão espectral (Fig.2). Tratando-se uma zona de transição, com extensas manchas de cerrado, houve necessidade de subtrair as áreas de cerrado das de pastagem, usando-se um mapa de vegetação. A metodologia utilizada de processamento de imagens se encontra resumida na Fig. 3.

A regeneração não pode ser mapeada a partir de um único corte no tempo, pois áreas mais antigas passam a apresentar comportamento espectral de floresta. Por outro lado, florestas sendo derrubadas podem se assemelhar espectralmente à regeneração. Portanto, faz-se necessário corrigir o produto da classificação com mapas de datas prévias. O algoritmo para isso está representado na Fig. 4. A partir daí, a seqüência de mapas está pronta para a obtenção das matrizes de transição para os períodos analisados e suas respectivas matrizes anuais, usando-se das propriedades da matriz ergódica, ou seja a que pode ser decomposta em autovalores e autovetores (Fig. 4).

### Análise Espacial

A obtenção dos mapas temporais de cobertura do solo e conseqüente mapa multitemporal de mudanças nos permite identificar as tendências da dinâmica de paisagem na área de estudo, incluindo suas taxas líquidas e brutas para cada período analisado como também a evolução dessas taxas através do tempo. Uma segunda parte em um estudo de modelagem de mudanças consiste no estabelecimento de variáveis que condicionam a espacialização dessas mudanças, sendo por isso conhecidas como determinantes espaciais. Na análise espacial de mudanças, especificamente para o desmatamento, alguns trabalhos têm empregado métodos de estatística paramétrica, sobretudo regressão logística, tendo em vista o caráter discreto da variável representante dos tipos de cobertura do solo (Ludeke *et al.*, 1990; Soares-Filho *et al.*, 2001; Mertens *et al.*, 2002). Soares-Filho *et al.* (2004) adaptaram o método de *Pesos de Evidência* (Goodacre *et al.*, 1993) para calcular relações empíricas entre variáveis espaciais e mudanças de uso do solo. A principal vantagem desse método *bayseiano* em relação aos métodos de estatística paramétrica refere-se ao fato dele não ser restringido pelos clássicos pressupostos dos métodos paramétricos, os quais os dados espaciais em geral violam (Meentemeyer & Box, 1987). Sua única suposição refere-se à independência entre as variáveis espaciais, o que pode ser testado usando-se o teste do coeficiente de contingência (Bonham-Carter, 1994). A partir do resultado desse teste, se elimina uma das variáveis correlacionadas ou se combinam as duas para se gerar uma terceira. O efeito de cada variável é calculado isoladamente (eqs. 4 – derivada de 1 a 3), podendo seu resultado ser combinado a posteriori com o de outras variáveis para se produzir um mapa de probabilidade de transição, o qual indica as áreas mais favoráveis para cada tipo de mudança (eq. 5).

$$O\{D|B\} = \frac{P\{D|B\}}{P\{\bar{D}|B\}} \quad 1) \quad O\{D|B\} = O\{D\} \frac{P\{B|D\}}{P\{B|\bar{D}\}} \quad 2) \quad O\{D\} = \frac{P\{D\}}{P\{\bar{D}\}} \quad 3) \quad \log\{D|B\} = \log\{D\} + W^+ \quad 4)$$

Onde  $D$  corresponde a um evento  $i \Rightarrow j$  e  $B$  a um padrão espacial, como tipo de solo, faixa de

distância a uma estrada, etc, e  $W^+$  o peso de evidência resultante.

$$P\{i \Rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum W_N^+}}{1 + e^{\sum W_N^+}} \quad 5)$$

Onde  $P$  é a probabilidade condicional de ocorrer a transição  $i \Rightarrow j$ , dado um conjunto de padrões espaciais,  $B, C, D \dots N$ , sendo  $W^+$  os pesos de evidência de cada categoria dessas variáveis. Observe que a razão de chance a priori (eq.3), foi assumida como sendo igual a 1, tendo em vista sua equivalência com a taxa de transição.

A equação 5 pode ser facilmente implementada em um SIG para o cálculo de mapas de probabilidade de mudanças, posto que consiste numa operação local computando valores de camadas *raster*, cada uma representando uma variável espacial. Variáveis analisadas neste trabalho foram 1) tipo de solo, 2) altitude, 3) declividade, 4) distância às áreas desmatadas previamente, 5) distância à mata, 6) distância a todas estradas, 7) distância às estradas principais (BR-163 e BR-80, Fig. 1) e 8) distância aos rios.

### 3. Resultados

A análise de mudanças mostra que o desmatamento na região vem se acelerando desde o início de sua ocupação ao final da década de 70, produzindo taxas brutas médias anuais sempre maiores do que as do período anterior (Fig. 5a). Após uma ocupação espontânea por pequenos posseiros e fazendeiros de gado ao longo das margens das principais estradas recém abertas – BR-163 e BR-080 –, tem-se a rápida ocupação das regiões interiores a essas estradas e aos emergentes núcleos urbanos, seguindo a estrutura criada pelas estradas vicinais dos recém implantados projetos de colonização privados e assistidos pelo INCRA (período 1977-1986). Numa segunda fase, toda a região se torna palco de intensa atividade garimpeira, estimulando os colonos a abandonar os seus lotes para se dedicarem ao garimpo do ouro. Em conseqüência, a taxa de evolução do desmatamento se arrefece, como também se espalham áreas de regeneração secundária em pastagens abandonadas (período 1986-1991). A partir de 1991/1992, com declínio do garimpo, retoma-se a atividade agrícola, como destacado pelo aumento da taxa desmatamento (1991-1994). Embora a taxa de regeneração seja ainda maior do que o período anterior, esse fato pode estar relacionado ao estágio mais avançado de regeneração, portanto mais facilmente identificável nas imagens, do que ao acréscimo de novas áreas de abandono. Nesse período, inicia-se também a ocupação de regiões perimetrais aos primeiros projetos de colonização, com a extensão de novas áreas de colonização e instalação de fazendas de médio a grande porte. A floresta praticamente se extingue ao meio dos projetos de colonização mais antigos, os quais têm suas reservas florestais coletivas invadidas já nos primeiros anos de ocupação, notadamente na região de Terra Nova e Nova Guarita, onde os colonos seguem desmatando em direção fundo dos seus lotes (Fig. 1). Ao final da década de 90, ao longo do período 1994-1999, observa-se um forte recrudescimento da taxa de desmatamento motivado, primeiro por uma crise social advinda da extinção do garimpo, o qual praticamente desaparece da região, e segundo, influenciado pela ascensão agrícola de regiões vizinhas no Mato Grosso. A crise social do garimpo, aparte por gerar migrações para outras regiões na Amazônia, pressiona políticos locais a incentivar invasões de terra como solução à legião de desempregados urbana. Uma nova onda de invasões de terra acompanha o rastro de tratores do poder público municipal, usados para abrir picadas adentro da floresta, apoderando-se de glebas de reservas florestais tituladas de um grande projeto agropecuário (Fazenda Cachimbo). A vila de Leonisioândia – em homenagem ao ex-prefeito de Peixoto de Azevedo –, a margem da BR-080, é um retrato vivo desse processo. Esses novos assentamentos à revelia do INCRA, despertando o interesse não só de habitantes locais mais até de pessoas de fora do estado do Mato Grosso, acabam por desencadear uma nova

corrida pela posse da terra, colocando pressão sobre grandes glebas com títulos irregulares de posse de antigos grileiros, os quais são obrigados a ceder uma parte de sua terra à reforma agrária. Esse processo de extensão da fronteira e intensificação do uso do solo em áreas de ocupação mais antiga encontra-se ilustrado pelas novas frentes de desmatamento, formando pinças em direção às zonas distais da floresta (Fig. 1), como também pelo aumento da taxa de limpeza da vegetação secundária e declínio da taxa de regeneração (Fig. 5a).

As trajetórias dos dois últimos períodos podem ser confrontadas usando-se uma projeção Markoviana, na qual assume-se a imutabilidade das taxas de transição (Fig. 5b). Nesse sentido, observa-se que a continuidade da trajetória do último período poderá acarretar ao redor do ano de 2025 numa redução para cerca de um quinto de sua extensão original de 19 000 km<sup>2</sup>. Semelhantemente ao observado por Alves *et al.* (2003) em Rondônia, a tendência de intensificação do uso do solo também é notável – com a capoeira tendendo a ocupar em um futuro próximo somente cerca de 20% das áreas desmatadas –, desmitificando assim antigos paradigmas de abandono de uso da terra na Amazônia após o declínio de sua fertilidade inicial oriunda da queimada da floresta (e.g.: Fearnside, 1985; Shmink & Wood, 1992; Skole *et al.*, 1994).

Quanto aos determinantes espaciais das mudanças, as análises de *Pesos de Evidência* (Fig. 6) demonstraram que a localização do desmatamento na área de estudo é influenciada pela proximidade às estradas, tanto principais como vicinais, que ele se irradia a partir de áreas previamente desmatadas, evita tanto baixios alagáveis quanto vertentes inclinadas e sofre pouca influência da fertilidade solo. De todas as variáveis analisadas, “distância às áreas previamente desmatadas” foi a que apresentou um maior *Contraste* (Bonham-Carter, 1994) - note a maior diferença absoluta entre os pesos -, indicando ser essa variável a de maior associação espacial com o desmatamento. Quanto à regeneração, essa ocorre de preferência próxima à mata e aos rios, em vertentes mais elevadas, nos fundos dos lotes rurais, afastada das estradas vicinais, e com uma leve preferência para solos mais pobres. Sua chance de ocorrer também aumenta em função da distância às estradas principais, talvez relacionada ao menor tempo desde o desmatamento e por conseguinte à menor intensificação do uso do solo. Por sua vez, a transição regeneração-desmatamento, ocorre com maior frequência próxima a ambos tipos de estradas, em áreas mais planas, mais distais da floresta e em solos mais férteis.

No tocante à temporalidade dessas relações espaciais, destaque-se o seu caráter quase invariante ao longo dos períodos analisados, com exceção para as variáveis “distância às estradas principais” e “distância às áreas previamente desmatadas” em relação à transição desmatamento. Neste aspecto, as relações obtidas para essas variáveis refletem as diferentes fases do processo de difusão do desmatamento, primeiramente, concentrando ao longo dos principais eixos de acesso à região e se distanciando desses à medida que se difunde através da região. Observe como os pesos dessa relação se achatam no gráfico da Fig. 6a com o avançar dos anos. Aparentemente, em uma fase tardia, o desmatamento passa a se desenvolver mais por um processo de dilatação direta a partir das áreas previamente desmatadas, como indicado pela relação do gráfico da Fig. 6d.

#### 4. Considerações Finais

Apesar da ocupação dessa região do norte do Mato Grosso ter sido marcada pelo fracasso do ideário dos projetos de colonização, resultando em concentração fundiária nas antigas glebas de colonização e expressivo êxodo rural e para regiões adentro da Amazônia, pode se considerar que houve um relativo sucesso econômico, caracterizando-se hoje numa consolidada região produtora de gado de corte, incipiente bacia leiteira - atividade conduzida sobretudo por antigos colonos, hoje pequenos pecuaristas - e por uma emergente agricultura de grãos, atualmente arroz e futuramente soja, influência de sua proximidade com a região de

Sorriso, polo produtor de soja do Mato Grosso. Embora seu ciclo de colonização não tenha terminado - haja vista a nova onda de projetos de assentamento induzida por movimentos político-sociais locais e estimulada pela disponibilidade de financiamento à agricultura familiar -, seus recursos naturais se encontram em vias de esgotamento, fato evidenciado pelo declínio da indústria madeireira e expressiva densidade de áreas desmatadas. Hoje a disponibilidade de terras não ocupadas praticamente inexistente, fruto também da demarcação de reservas indígenas a este, na bacia do Rio Iriri, e de áreas protegidas sobre a Serra do Cachimbo ao longo da divisa com o Pará. Como resultado, cidades na região, como Garantã do Norte, constituem hoje entrepostos comerciais e base de migrantes voltados para ocupação do sul do Pará, a qual vem se acelerando diante da perspectiva de asfaltamento do restante da Cuiabá-Santarém. Portanto, a análise espaço-temporal das mudanças de cobertura do solo não só nos ajuda a ilustrar sua história de ocupação como também serve para a construção de modelos da evolução tanto da sua paisagem como de outras regiões da Amazônia, passíveis de se tornarem palco de semelhante processo de ocupação (Soares-Filho *et al.*, 2004).

### **Agradecimentos**

Ao projeto LBA (Experimento em Grande Escala da Atmosfera e Biosfera na Amazônia), CD-05, e Fundação Gordon e Betty Moore pelo financiamento.

### **Referências**

- Alves, D.S.; Escada, M.I.S.; Pereira, J.L.G.; Linhares, C.A. Land use intensification and abandonment in Rondonia, Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, p. 899 – 903, 2003
- Bonham-Carter, G. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Pergamon, 1994. 398 p.
- Crist, E.P.; Ciconne, R.C. Applications of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.50, p.343-352, 1984.
- Fearnside, P.M. Agriculture in Amazonia. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E. **Key Environments of Amazonia**. Oxford, Pergamon Press, 1985. Cap.21, p.393-418.
- Goodacre C. M.; Bonham-Carter G. F.; Agterberg, F. P.; Wright D. F. A statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. **Tectonophysics**, v. 217, p. 205-305, 1993.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico de 2000**. (CD-ROM). Rio de Janeiro, Br: IBGE, 2000.
- Ludeke, A.; Maggio, R.C.; Reid, L.M. An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. **Journal of Environmental Management**, 31, p. 247-59, 1990.
- Meentemeyer, V.; Elgene B. Scale effects in landscape studies. In: Turner, M. G. **Landscape Heterogeneity and Disturbance. Ecological Studies**. Springer-Verlag. New York. 1987, 239p.
- Mertens, B.; Pocard-Chapuis, R.; Piketty, M.-G.; Lacques, A.-E.; Venturieri, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingú in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, p. 269–294, 2002.
- Schmink, M; Wood, C.H. **Contested Frontiers in Amazonia**. New York, Columbia University Press, 1992. 385p.
- Skole, D.L.; Chomentowski, W.H.; Salas, W.A.; Nobre, A.D. Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. **BioScience**, v.44, n.5, p.314-22, 1994.
- Soares-Filho, B.S.; Assunção, R.M.; Pantuzzom A. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, p.1039-1046, 2001.
- Soares-Filho, B.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G.C.; Vera Diaz, M.; Rivero, S.; Solórzano, L.; Voll, E. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. **Global Change Biology**, v. 10, n.7, p.745-764, 2004.

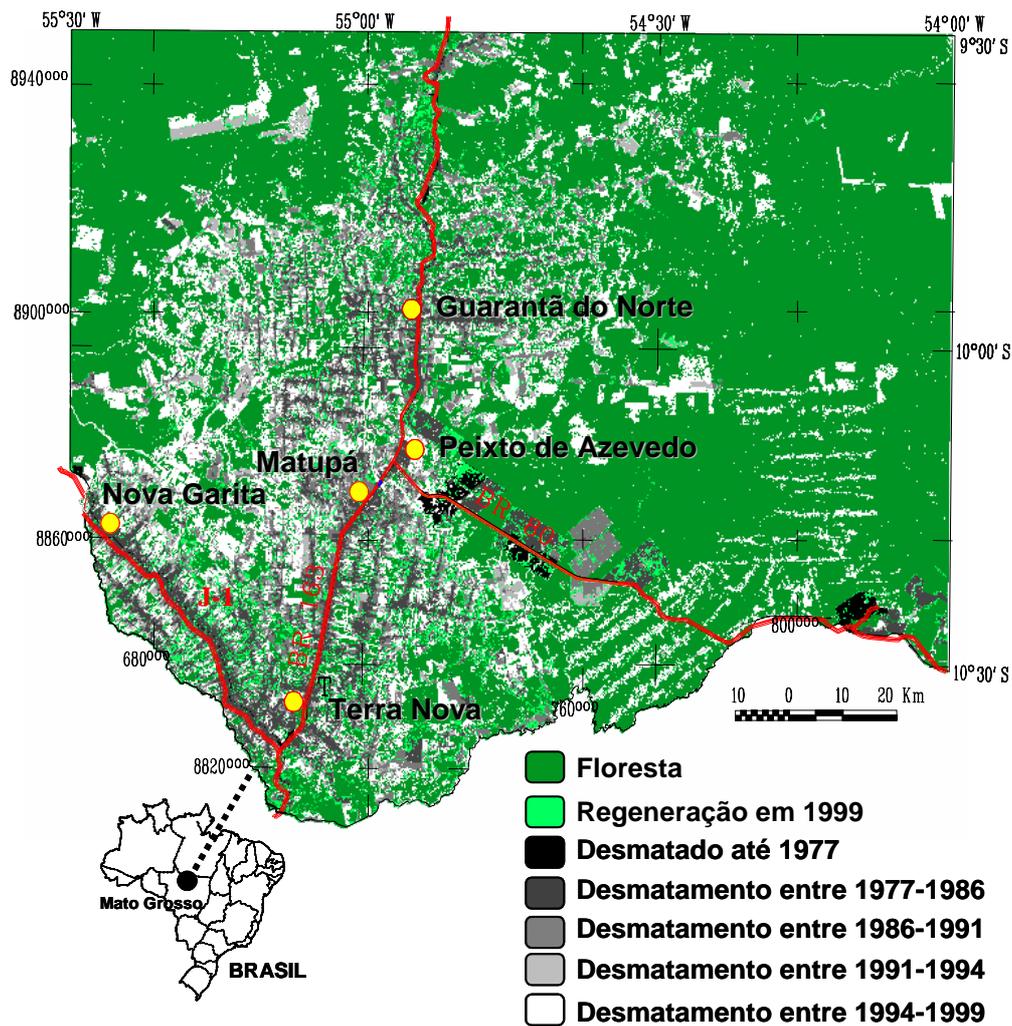


Fig. 1. Localização da área de estudo e mapa multitemporal de desmatamento.

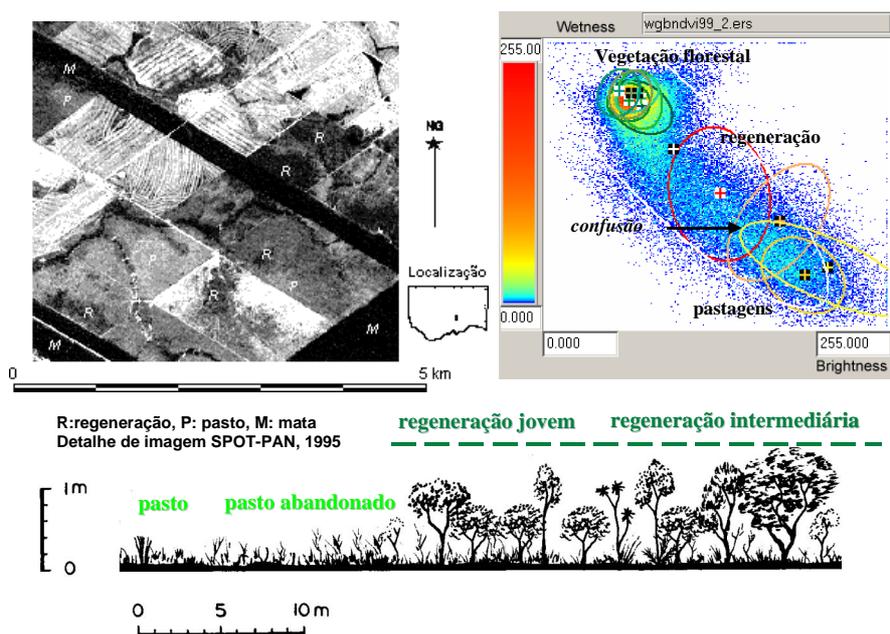


Fig. 2. Modelagem espectral das classes de cobertura do solo com destaque para regeneração.

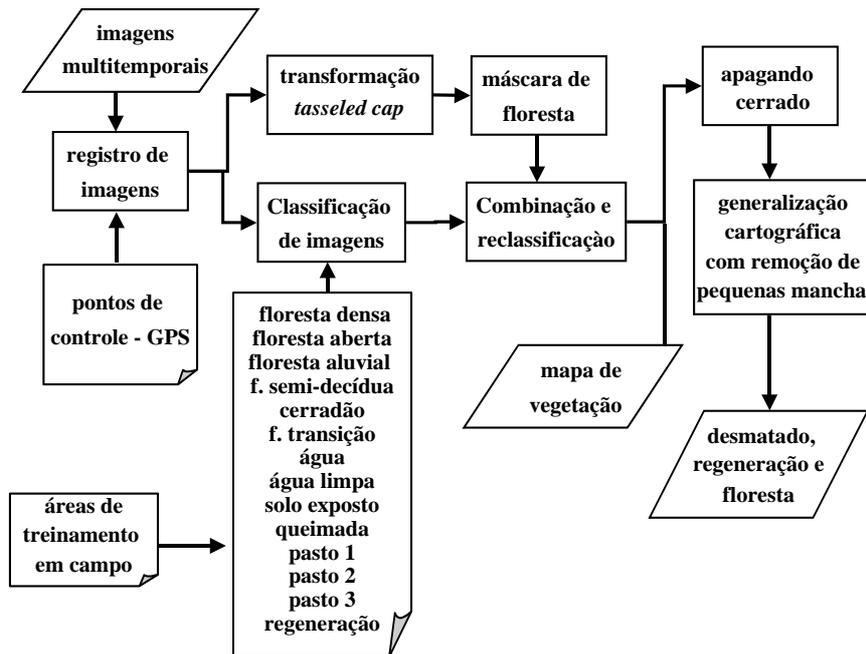


Fig. 3. Fluxograma de processamento de imagens.

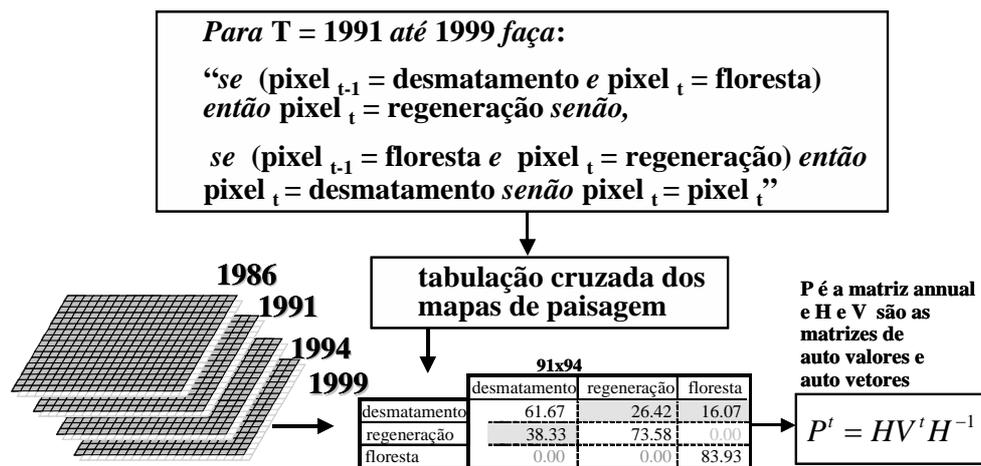


Fig. 4. Algoritmo de pós-classificação para correção da classe de regeneração e obtenção da série temporal de cobertura do solo e subsequente matriz de transição do período e anual.

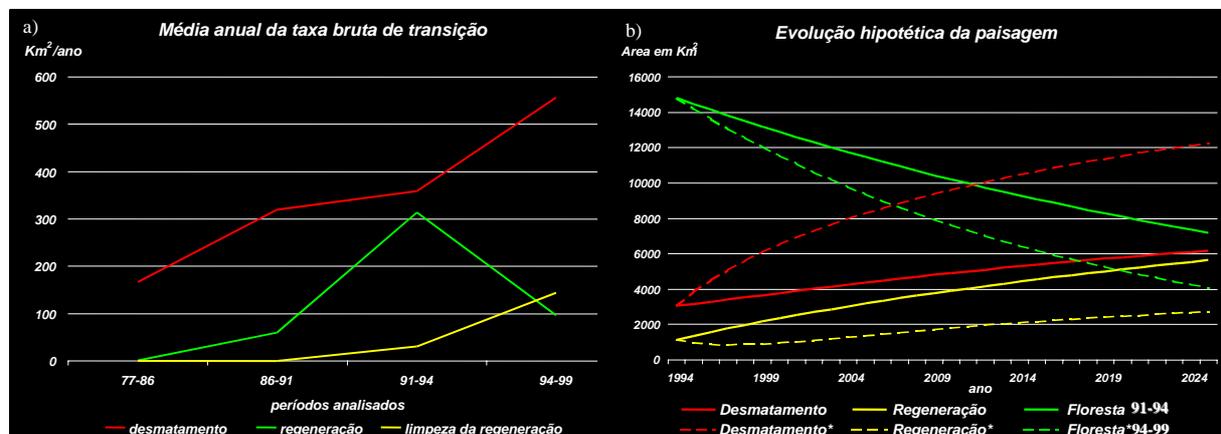


Fig. 5. a) Taxas brutas de transição para os períodos analisados e b) projeção markoviana das mudanças de paisagem com base nas matrizes de 1991-1994 e 1994-1999.

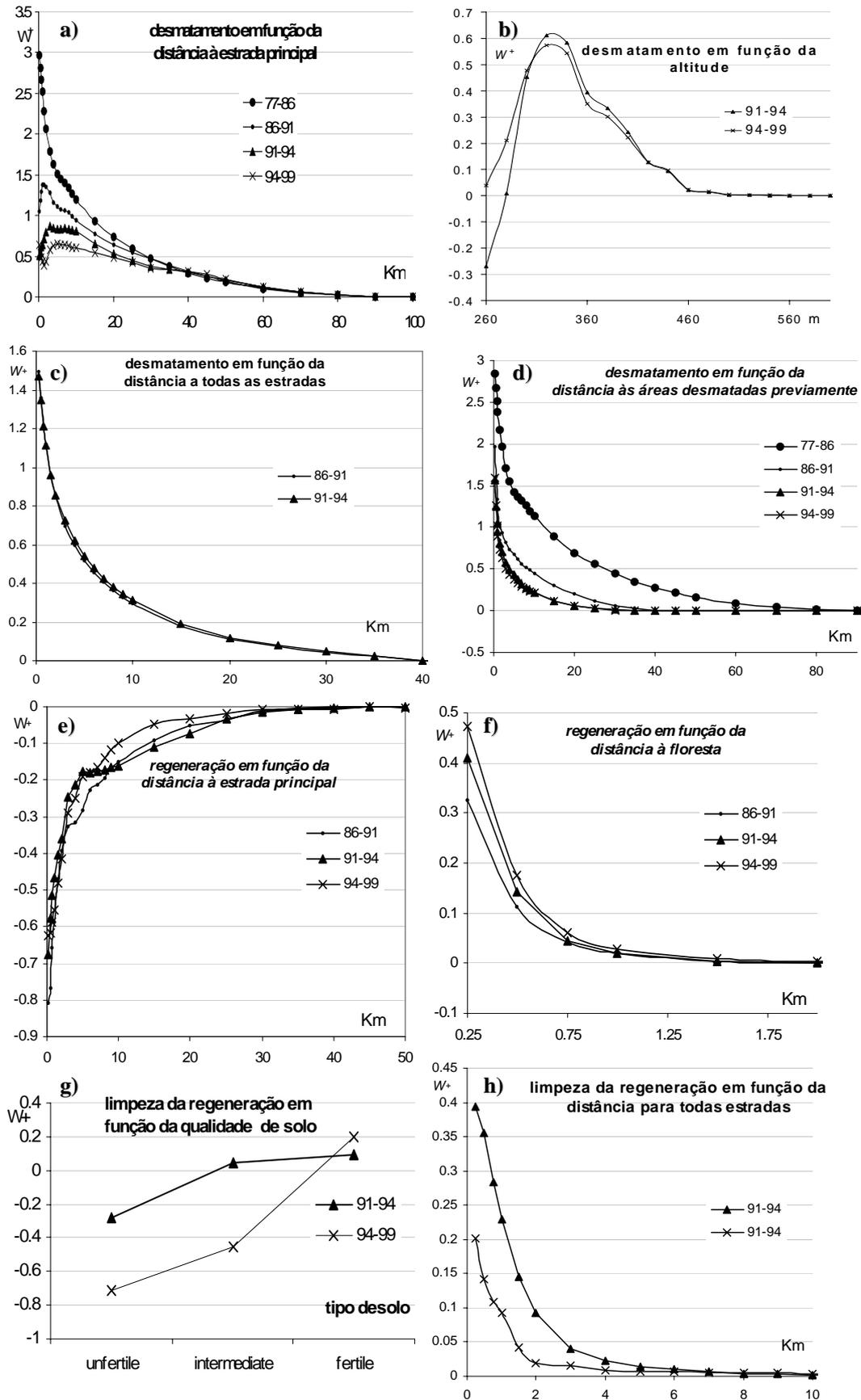


Fig. 6. Funções espaciais derivadas dos pesos de evidência para as transições analisadas.