

## Modelagem da paisagem no Parque Estadual Carlos Botelho (SP) e Entorno

Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>1,2</sup>  
Cláudia Maria de Almeida<sup>1</sup>  
Luciana Spinelli Araújo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gustavo, almeida}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Unidade Estadual Paraíba)  
Rua Irineu Pinto, 94, CEP 58010-100 - João Pessoa - PB, Brasil  
gustavo.arcoverde@ibge.gov.br

<sup>3</sup> EMBRAPA Monitoramento por Satélite  
Av. Soldado Passarinho, 303, CEP 13070-115- Campinas - SP, Brasil  
spinelli@cpm.embrapa.br

**Abstract.** The aim of this study was to model landscape change in a nature conservation area located in the Atlantic Forest within São Paulo State, Brazil, called Carlos Botelho State Park – CBSP, and also in its surroundings, both currently under anthropogenic pressure. A cellular automata stochastic simulation platform - Dinamica EGO – was used, which embodies neighborhood-based transition algorithms and the weights of evidence method as a parameterization approach. Water bodies, forest, agriculture, and forestry (eucalyptus) were considered as land cover categories in this model. Variables like distance to roads and distance to existent types of land cover in the area were crucial to explain the observed landscape changes. The prevailing conversion of land-use/land-cover was agriculture to eucalyptus. There were no findings of significant increase of human pressure in CBSP, except in a small stretch in the northwest of the Park. There is evidence that the establishment of a nature conservation area in the eastern sector of CBSP might be feasible, since it would strengthen an ecological corridor towards the Jurupará Park. Fiscalization and routine monitoring should be strictly observed, considering that the CBSP may suffer greater pressure of the eucalyptus plantations that increasingly expand into surrounding the region analyzed. To improve this research, more variables should be investigated, for example, the role the role of distance to suppliers / markets and roads, soil categories, as well as socioeconomic factors through coupled models of dynamic systems.

**Palavras-chave:** landscape modeling, cellular automata, land-use and land-cover change, nature area conservation, modelagem da paisagem, autômato celular, mudança de uso e cobertura da terra, unidade de conservação.

### 1. Introdução

Historicamente, classificação do uso e cobertura da terra e de suas mudanças tem se mostrado um tópico recorrente em meio à comunidade científica de sensoriamento remoto nos últimos anos. As demandas por estudos neste sentido podem ser justificadas pelo ritmo, magnitude e grandeza espacial sem precedentes que as alterações na biosfera terrestre alcançaram a partir do século XX (LAMBIN et al., 2001).

As alterações de coberturas naturais provocam desequilíbrios no ciclo de nutrientes, de energia e de permutação gênica em diferentes ecossistemas e biomas. Walker (2004) exemplifica algumas destas conseqüências, tais como: aumento de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade, assoreamento de rios e lagos. Nesse contexto, um tema de especial interesse é o desmatamento de florestas tropicais. Essas florestas estão presentes na maioria dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento e, portanto, abarcam um crescimento populacional maior do que nas demais regiões do planeta. Este fato desencadeia uma maior pressão sobre o uso de recursos naturais locais e acelera o desmatamento de ecossistemas de grande biodiversidade (MYERS et al., 2000). Uma das florestas tropicais mais ameaçadas é a

Mata Atlântica no Brasil, um dos ecossistemas mais ricos do planeta e integrante da lista dos 25 biomas de alta diversidade mais ameaçados atualmente (RODRIGUES et al., 2009). Este bioma também proporciona abrigo para várias populações tradicionais e garantia de abastecimento de água para mais de 100 milhões de pessoas (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2008).

Por conseguinte, o papel das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) é crucial para a conservação da Mata Atlântica. Neste sentido, pesquisadores e planejadores devem compreender a dinâmica das alterações de cobertura da terra, no sentido de quantificar as pressões antrópicas atuais e futuras sobre estas UCPI. Tal conhecimento promove o planejamento de novas unidades de conservação, corredores ecológicos, Zoneamentos Ecológico-Econômicos e medidas de valoração ambiental no entorno das faixas ambientalmente mais sensíveis. Neste contexto, modelos prescritivos de mudanças de uso da terra têm sido utilizados para sinalizar os padrões ótimos de uso da terra visando garantir o uso sustentável de recursos com o desenvolvimento (BRIASSOULIS, 2000).

A partir dos princípios supracitados, o objetivo deste trabalho foi o de modelar de forma dinâmica e espacial as principais intervenções antrópicas no entorno de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (UCPI) no Bioma da Mata Atlântica. O intuito do uso da modelagem foi o de auxiliar na análise das variáveis que possuem maior influência para as mudanças de uso e cobertura da terra, e de realizar prognóstico para viabilidade de implantação de outras unidades de conservação no entorno da UCPI.

## 2. Área de Estudo

Foi escolhida como área de estudo a UCPI Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) e o seu entorno. O PECB foi criado em 10 de setembro de 1982 através do Decreto Estadual nº 16.499, abrangendo uma área de 37.664 ha. Em 1991, esta UC foi declarada Reserva da Biosfera da Mata Atlântica pela UNESCO. O PECB está compreendido entre duas bacias importantes para o estado de São Paulo: Paranapanema e Ribeira do Iguape. O PECB está situado a sudeste do estado, e faz parte do chamado *continuum* ecológico da Serra da Paranapiacaba: um dos mais significativos trechos protegidos da Mata Atlântica (FIGURA 1).

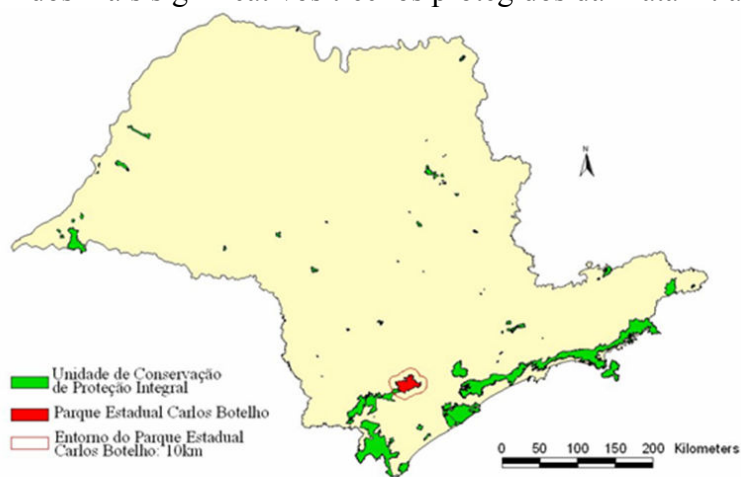


Figura 1. Área de estudo no contexto espacial do estado de São Paulo.

Este Parque apresenta forte pressão antrópica no seu limite norte. A oeste, possui conexão com outro parque de mesma categoria, o Intervales; a sul e a leste, o Parque está rodeado pela APA da Serra do Mar. Ao sul, situa-se o vale do Ribeira, com pequenas intervenções antrópicas pontuais, e a leste, encontram-se áreas bem preservadas até o encontro com outra UCPI, o Parque Estadual Jurupará (PEJ).

Foi definida uma área de entorno para a coleta mínima de dados de cobertura da terra, e outra, para a modelagem propriamente dita. A primeira estende-se por 10 km, e a segunda, 8 km. Com a área de entorno de 8 km, a área total foi de 139.629 ha, enquanto que com o entorno de 10 km, a área de estudo chega a 168.936 ha.

### **3. Material e Métodos**

#### **3.1 Geração dos Mapas de Cobertura da Terra**

Para a geração de mapas temáticos de cobertura da terra, foram utilizadas imagens das bandas 3, 4 e 5, órbita-ponto 220-77, do sensor TM a bordo do satélite Landsat5. As datas consideradas foram de 23 de setembro de 1999 e de 04 de junho de 2007. Foram consideradas as seguintes classes de uso e cobertura da terra: **Classe 1) Espelho d'água/sem dado; Classe 2) Vegetação Natural de Floresta e Várzea; Classe 3) Agropecuária/Capoeira/Vilarejos; Classe 4) Silvicultura (eucalipto)**. Para a identificação da conversão de áreas desflorestadas em agropecuária ou em silvicultura, foi necessário o auxílio de imagens do ano seguinte às respectivas datas de referência do trabalho. Para as imagens da data de 23 de setembro de 1999, utilizou-se uma imagem de 13 de abril de 2000, e para as imagens da data de 04 de junho de 2007, utilizou-se uma imagem de 25 de agosto de 2008.

Os mapeamentos temáticos para os respectivos anos de 1999 e 2007 foram auxiliados pela classificação Iseg, disponível no programa SPRING. As diferentes classes definidas pela classificação foram agrupadas por interpretação visual das imagens de satélite a cada uma das quatro classes do trabalho. E, por fim, foram realizadas edições matriciais de possíveis erros, resultando nos mapas temáticos de cobertura da terra de 1999 e 2007, os quais também foram usados na etapa de modelagem para gerar as variáveis dinâmicas no programa Dinamica EGO.

#### **3.2 Organização das Variáveis de Entrada**

Na modelagem realizada, as variáveis de entrada são divididas em estáticas e dinâmicas. As primeiras são aquelas que não variam no decorrer da simulação e incluem: altimetria (Alti), declividade (Dec), distância a rios (Dist\_rios), distância a vias de acesso (Dist\_vias) e unidades de conservação de proteção integral (UCPI). As variáveis dinâmicas são as que variam ao longo da simulação e compreendem as distâncias das próprias classes de uso e cobertura da terra (Dist\_“classe de uso e cobertura da terra”).

O dado altimétrico foi extraído do produto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). A declividade foi gerada a partir deste dado altimétrico com o auxílio de um filtro de preenchimento de vales, disponível no programa ArcView. Para a geração da distância a rios, primeiramente foi necessário gerar uma hidrografia coerente com a escala de trabalho. A geração da hidrografia foi baseada em limiarizações do dado de área de contribuição do dado altimétrico. Para a distância a vias de acesso, foi necessário inicialmente gerar as vias de acesso coerentes com a escala de trabalho. A geração das vias de acesso foi realizada mediante edição de linhas por interpretação visual da imagem de 23 de setembro de 1999. A geração da variável de UCPI se deu pela simples conversão dos dados de polígonos vetoriais para dados matriciais binários. Com estes procedimentos, as classes temáticas e as variáveis estáticas deram início aos processamentos de conversão dos mesmos para o formato “ERS” do programa ERMAPPER, que é a extensão de entrada no programa de modelagem utilizado, o Dinamica EGO, disponível para uso público em <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>.

#### **3.3 Elaboração do Modelo Dinâmico Espacial**

A modelagem foi realizada no programa Dinamica EGO. Este programa realiza as simulações com base no método de pesos de evidência, em um processo estocástico, utilizando o paradigma de autômatos celulares. As etapas descritas neste estudo assim como conceitos e

fórmulas podem ser consultados detalhadamente em Soares-Filho et al. (2002) e Almeida (2003). O processo de modelagem no Dinamica EGO pode ser dividido em três etapas: **parametrização, calibração e validação**. Porém, considerando as subetapas, têm-se ao todo seis etapas. A etapa de parametrização consistiu em: 1) gerar as matrizes de transição global e a de transição para cada passo de ano, dentre as respectivas classes de uso e cobertura da terra; 2) conversão das variáveis estáticas contínuas para categóricas através de fatiamentos das mesmas (*skeletons*) 3) cálculo dos pesos de evidência ( $W^+$ ) para cada evento e evidências sobre a estrutura dos *skeletons*; 4) geração dos coeficientes de Cramer e *Joint Information Uncertainty (JIU)* para avaliação da interdependência entre variáveis. A etapa de calibração consistiu em: 5) ajuste dos algoritmos de transição disponíveis no Dinamica EGO: *expander* e *patcher*. O *expander* considera o crescimento de áreas contínuas, enquanto o *patcher* considera o crescimento de área por ilhas. Os ajustes se deram na proporção de área de *expander* para cada tipo de transição, assim como em valores de parâmetros definidos independentemente para o *expander* e o *patcher*: tamanho médio de área, variância e isometria. A definição dos ajustes mais adequados se deu conforme a observação visual do mapa simulado e o real final, ambos de 2007, assim como na observação das validações do modelo, da etapa seguinte. Após a definição dos ajustes, a fase de validação (etapa 6) consistiu em executar o modelo 10 vezes para que a particularidade aleatória do modelo fosse verificada nos mapas simulados. Esses dez modelos foram avaliados segundo o critério de validação pelo cálculo do Índice de Similaridade *Fuzzy*. Este índice opera com janelas de tamanho  $1 \times 1$  pixel a  $n \times n$  pixels (usualmente  $n = 13$ ), cujo cálculo é realizado por função de decaimento constante, onde não há uma diferença quanto aos valores de vizinhança nas janelas, ou então, utilizando decaimento exponencial, quando há uma gradação de valores progressivamente decrescentes para pixels mais distantes na janela de vizinhança.

## 4. Resultados da Modelagem

### 4.1 Parametrização

As transições entre as classes de uso e cobertura da terra consideradas neste estudo foram: 2 para 3, 2 para 4, e 3 para 4 (Seção 3.1). As matrizes de transição global e a de transição anual entre as classes de uso e cobertura da terra são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. A transição de 3 para 4 foi a que ocorreu em maior taxa, enquanto que a menor taxa foi observada na transição de 2 para 4.

Tabela 1. Matriz de transição global

		2007		
		2	3	4
1999	2	x	0.0365	0.0236
	3	x	x	0.1142
	4	x	x	x

Tabela 2. Matriz de Transição anual

		2007		
		2	3	4
1999	2	x	0.0049	0.0028
	3	x	x	0.0150
	4	x	x	x

O fatiamento de grades contínuas (*skeletons*) referentes a variáveis estáticas e dinâmicas para cada uma das transições de classes de uso e cobertura da terra é apresentada na Figura 2. As variáveis UCPI e de Dist\_2 não foram fatiadas, visto que a UCPI é uma variável categórica, e a variável Dist\_2 não foi considerada significativa para explicar as transições observadas. Percebe-se que a transição de 2 para 3, no geral, apresentou maior oscilação deste fenômeno em função da variação nas distâncias em cada uma das variáveis consideradas. Desta forma, foram necessários mais níveis de discretização em relação às demais transições.

Em relação ao cálculo dos pesos de evidência ( $W^+$ ), para cada transição de classe de uso e cobertura da terra, foram observados os seguintes padrões:

- (a) Para a transição de 2 para 3:

- Em “Dist\_3”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores distâncias;
- Em “Dist\_4”, não houve um padrão definido;
- Em “Alti”, os maiores valores foram observados nas faixas iniciais e intermediárias, demonstrando que esta transição tende a ocorrer principalmente na região do vale do Ribeira e na região de platô;
- Em “Dec”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores declividades;
- Em “Dist\_rios”, os valores se mantiveram bem próximo a zero, o que representa a falta de influência desta variável para este tipo de transição;
- Em “Dist\_vias”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores distâncias;
- Em “UCPI”, o valor de  $W^+$  foi consideravelmente baixo dentro dos limites da unidade, denotando a repulsão para a conversão de uso e cobertura da terra na área do PECB.

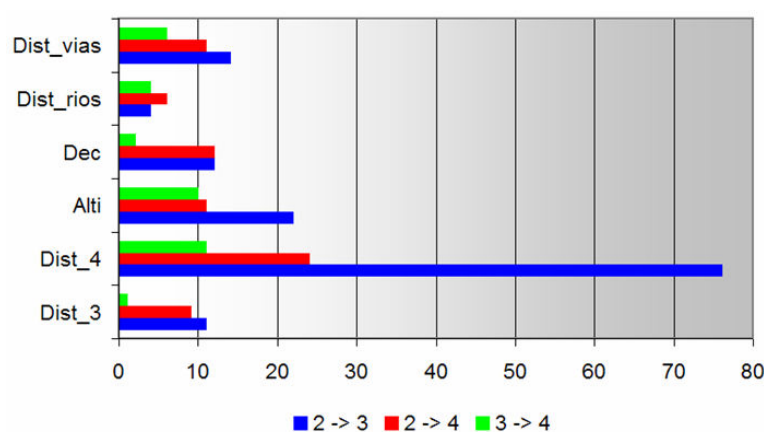


Figura 2. Fatiamento das variáveis contínuas (estáticas e dinâmicas).

(b) Para a transição de 2 para 4:

- Em “Dist\_3”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores distâncias;
- Em “Dist\_4”, os maiores valores ocorreram subitamente nas menores distâncias;
- Em “Alti”, os maiores valores ocorreram nas altitudes médias, o que retrata que esta transição ocorreu principalmente no entorno oeste e leste do PECB;
- Em “Dec”, os maiores valores são encontrados nas faixas iniciais e intermediárias, o que permite inferir que esta transição ocorre em áreas suavemente onduladas;
- Em “Dist\_rios”, os maiores valores ocorrem nas faixas intermediárias, ou seja, com certa distância a áreas drenadas;
- Em “Dist\_vias”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores distâncias;
- Em “UCPI”, o valor de  $W^+$  foi consideravelmente baixo, denotando a repulsão para a conversão de uso e cobertura da terra na área do PECB.

(c) Para a transição de 3 para 4:

- Em “Dist\_3”, com somente um nível gerado (Figura 4), apresentou valor próximo a zero, representando a indiferença desta variável para esta transição;

- Em “Dist\_4”, ocorrem valores progressivamente muito altos nas menores distâncias, o que denota a importância desta variável para este tipo de transição;
- Em “Alti”, os maiores valores se deram progressivamente nas menores altitudes, denotando que esta transição ocorreria nas áreas de baixo;
- Em “Dec”, com apenas dois níveis (Figura 4), os pesos assumem valores próximos a zero,
- Em “Dist\_rios”, os maiores valores concentram-se nas faixas intermediárias a finais, ou seja, com certa distância a áreas drenadas;
- Em “Dist\_vias”, os maiores valores ocorreram progressivamente nas menores distâncias;
- Em “UCPI”, o valor de  $W^+$  foi sensivelmente positivo, o que, diferentemente das demais transições, denota que o PECB apresentou alguma atração para este tipo de transição.

Em relação à interdependência das variáveis, ao analisar os valores de Cramer e *Joint Information Uncertainty (JIU)*, percebeu-se que somente a relação entre as variáveis de Unidade de Conservação e Distância a Vias de Acesso são dependentes. Contudo, optou-se em não eliminar alguma destas variáveis, porque ambas obtiveram valores altos de  $W^+$  ao mesmo tempo que obtiveram valores baixos de JIU e Cramer com outros casos de transição.

#### 4.2 Calibração

Os ajustes definidos para a proporção de *expander* são apresentados na Tabela 3. Para a transição de 2 para 3, foi atribuída maior proporção de *patcher*, devido ao fato de que as áreas do vale do Ribeira apresentam-se de forma mais fragmentada.

Tabela 3. Ajustes de proporção de *expander* no modelo.

% Expander	2007		
	2	3	4
2	x	0.4	0.7
3	x	x	0.7
4	x	x	x

Os maiores valores de média e de variância de área de manchas foram atribuídos para a transição de 3 para 4, ao passo que a transição de 2 para 3 comporta os menores valores. O índice de isometria representa um valor numérico, o qual é multiplicado pelo valor de probabilidade das oito células da janela de vizinhança 3x3, utilizada pelos algoritmos *expander* e *patcher*, antes da aplicação da regra de transição. Neste trabalho, atribui-se o valor 1 para todos os casos, de modo a assegurar que o crescimento de manchas pudesse ser igualmente distribuído em todas as direções.

#### 4.3 Validação e Avaliação

Dentre as 10 execuções conduzidas, selecionou-se o modelo apresentado na Figura 3A. Este modelo pode ser comparado com o mapa temático de 2007, na Figura 3B. Os erros da modelagem são de menores proporções na mudança de 2 para 3, na parte ao sul do entorno do Parque, enquanto que nas mudanças de 2 para 4 e 3 para 4, os erros foram mais evidentes.

A validação quantitativa pelo Índice de Similaridade *Fuzzy* do modelo escolhido oscilou de 0,30 a 0,35 (com janela 3x3), utilizando decaimento exponencial, e de 0,35 a 0,40 no decaimento contínuo (com janela 3x3). Com o aumento do tamanho das janelas, observa-se a tendência de aumento e de estabilização do Índice de Similaridade. Os mapas de probabilidades das respectivas transições podem ser observados nas Figuras 4A, 4B e 4C, onde é possível notar que grande parte das probabilidades mais elevadas coincidem com as

áreas de transições. A simulação para 2012 (Figura 4D) aponta a probabilidade de ocorrência de algumas invasões por parte de eucaliptos na porção noroeste do PECB (Classe 4) sobre áreas de floresta (Classe 2). Todavia, esta suposição é apenas uma constatação de que existem fatores que podem levar à ocorrência desta condição, considerando as variáveis estudadas no modelo. Entretanto, no geral, ocorreria baixa conversão de floresta para áreas antropizadas. A principal conversão seria da Classe 3 para a Classe 4, denotando o avanço da plantação de eucalipto, promovido pela indústria de papel e celulose.

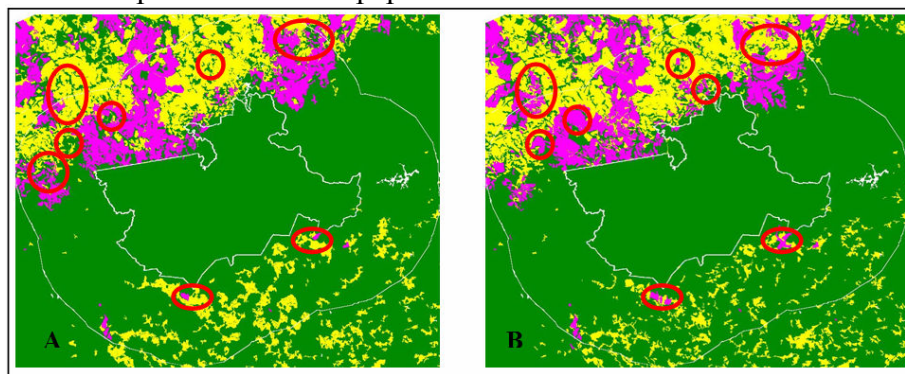


Figura 3. Mapa Simulado de 2007 (A) e Mapa Real de 2007 (B), em que os círculos vermelhos apresentam alguns erros. Classe 1: branco; Classe 2: verde; Classe 3: amarelo; classe 4: rosa.

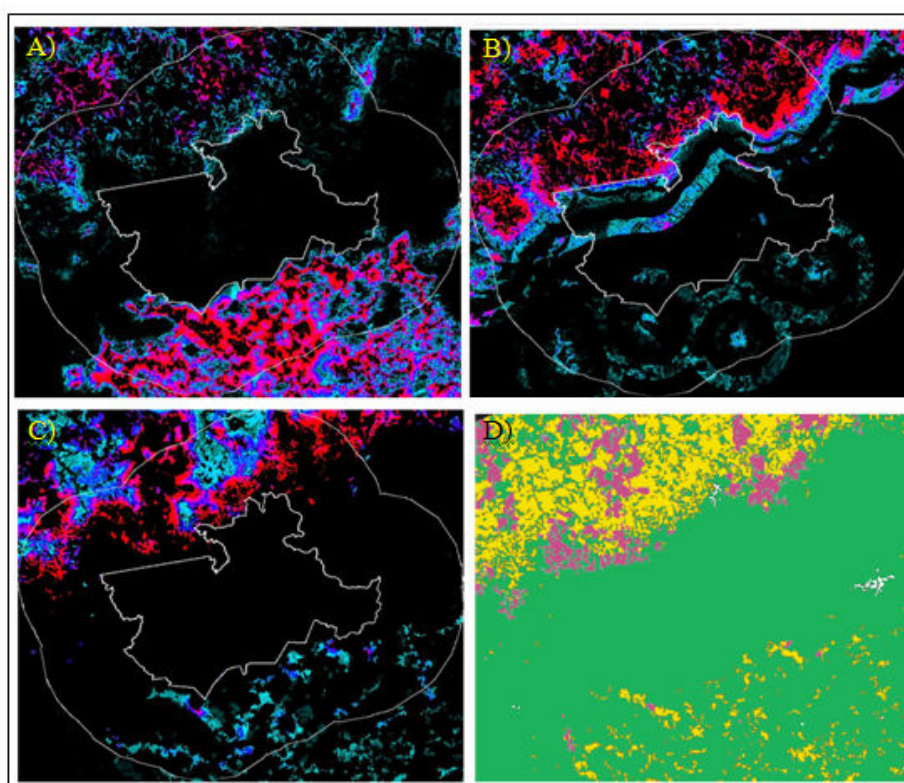


Figura 4. Mapa de probabilidades da transição de 2 para 3 (4A), 2 para 4 (4B), 3 para 4 (4C), sendo as cores avermelhadas as mais altas probabilidades. Projeção do uso e cobertura da terra para 2012 (4D).

## 5. Considerações Finais

A partir da avaliação dos valores de  $W^+$  para as variáveis consideradas, é possível conhecer o papel de cada uma delas nas transições observadas. A transição da Classe 2 para a

Classe 3 ocorre fundamentalmente em função da proximidade à Classe 3 e às vias de acesso, bem como em áreas planas. A transição da Classe 2 para a Classe 4 ocorre sobretudo em função da proximidade à Classe 3, à Classe 4 e às vias de acesso. Esta transição apresentou a particularidade de os valores mais altos de  $W^+$  estarem associados a valores intermediários de declividade, além da elevada contribuição da variável distância a rios. Quanto à transição da Classe 3 para a Classe 4, a proximidade da Classe 4 mostrou-se decisiva, juntamente com a proximidade a vias de acesso, característica esta comum aos demais casos de transição. Áreas mais distantes de cursos d'água também apresentaram considerável importância para a transição de 3 para 4. Enfim, a proximidade da cobertura ou uso de destino da transição considerada e a proximidade a vias de acesso são fundamentais para que ocorra a conversão de uso e cobertura da terra. Em relação ao PECB, é certo que o mesmo tem uma forte contribuição para a manutenção da conservação da Mata Atlântica. Em relação ao emprego de mais variáveis para este estudo, deve-se investigar, por exemplo, o papel da distância a fornecedores/mercados e a rodovias, categorias de solos, bem como fatores socioeconômicos por meio de modelos acoplados de dinâmica de sistemas (p.ex., Vensim). Outra possibilidade de investigação seria a de explorar o módulo construtor de estradas vicinais do Dinamica.

Deve-se salientar que a região possui dois tipos de paisagem bem diferenciados, ao sul e ao norte da UC. Este fato pode dificultar a concepção de um modelo único. Uma proposta para estudos futuros seria a de se realizar uma compartimentação da paisagem, de forma que a parametrização seja realizada de forma independente para ambas regiões.

Finalmente, há indícios que a implantação de uma UC em direção à UC de Jurupará poderia ser viável, uma vez que na porção leste da mesma não foi verificada pressão antrópica significativa. De qualquer forma, medidas de fiscalização e monitoramento devem ser uma constante, haja vista que esta área pode vir a sofrer maior pressão das plantações de eucalipto que cada vez mais se expandem no entorno da região analisada.

## 6. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil.** 2003. 321 p. (INPE-10567-TDI/942/A). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29>>.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches.** Lesvos, Greece. Tese (Doutorado em Geografia) - University of Aegean, 2000. Disponível em <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL. **Sobre o bioma da mata atlântica.** Aliança para a Conservação da Mata Atlântica. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.aliancamataatlantica.org.br/bioma.htm>>.

LAMBIM, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, J. H.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P.S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, J.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G.D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XU, J. The Causes of land-use and land-cover change moving beyond myths. **Global Environmental Change**. v. 11, n. 4, p.261-269, 2001.

MYERS, N. The present status and future prospects of the tropical moist forest. **Environmental Conservation**. v. 7 p.101-114, 1980.

RODRIGUES R. R., LIMA R. A. F., GANDOLFI S., NAVE A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**. v. 142, pp. 1242-1251, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.

WALKER, R. Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation. **International Regional Science Reviews**. v. 24, n. 3, p. 247-270, 2004.