

MODELAGEM DINÂMICA DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA. CASO DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU – PARÁ.

Arimatêa de Carvalho Ximenes
Cláudia Almeida
Ana Paula Dutra de Aguiar
Silvana Amaral

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos, SP.
{arimatea, anapaula, silvana}@dpi.inpe.br; almeida@dsr.inpe.br

Resumo

As florestas tropicais possuem mais da metade das espécies da biota mundial, contudo ocupam apenas 7% da superfície terrestre. Devido ao rápido crescimento nas taxas de desmatamento, simulações ou modelos dinâmicos que trabalhem, por exemplo, com autômatos celulares podem ser empregados com o objetivo de analisar os fatores deste processo e também de auxiliar a definição de ações conservacionistas para estas regiões. Assim, este trabalho tem como objetivo simular o desmatamento na região de São Félix, entre o período de 1997 a 2000, utilizando autômatos celulares como ferramenta para compreender os fatores condicionantes do desmatamento neste período. A área de estudo compreende o município de São Félix do Xingu, no sudeste do Estado do Pará, cortado longitudinalmente pelo rio Xingu, um dos maiores tributários do rio Amazonas. O município de São Félix é campeão de desmatamento no Brasil nos anos de 2000 a 2005, data em que contabilizou 84.249 km² de área florestal desmatada, o que corresponde a 16% de sua área total.

Para a modelagem, os dados reais do desmatamento de 1997 a 2000 foram usados para identificar o processo de supressão da floresta na região. Um conjunto de variáveis relacionadas ao processo foi selecionado para, juntamente com parâmetros internos do modelo de simulação “DINAMICA”, criar uma simulação do desmatamento para 2000.

1. Introdução

As florestas tropicais possuem mais da metade das espécies da biota mundial, contudo ocupam apenas 7% da superfície terrestre (Wilson, 1997). Apesar dessa informação a evolução do desmatamento só tem aumentado levando consigo grande parte do patrimônio genético. Muitas espécies endêmicas desaparecem sem antes serem conhecidas pela ciência.

Atualmente, há diversas ferramentas que possibilitam estabelecer áreas prioritárias para a conservação, o que permitiria que ações fossem tomadas antes do impacto ocorrer. A simulação de sistemas é uma destas ferramentas, pois auxilia o entendimento dos mecanismos casuais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais. Assim, ao determinar como os sistemas evoluem diante de um conjunto de circunstâncias, chamadas de condições de contorno, pode-se

representar cenários traduzidos por diferentes quadros sócio-econômicos, políticos e ambientais (Soares-Filho, 2001).

No caso da Amazônia Legal brasileira, quatro frentes de expansão, livres de perda significativa de floresta em 2001, passaram em 2003 a responder por 10 mil quilômetros quadrados de desflorestamento (Angelo, 2006). Este valor contrasta com o total de 65 mil quilômetros quadrados de desflorestamento computados para toda a Amazônia nesse período (INPE, 2006).

As frentes correspondem, no Pará, à Terra do Meio (região entre os rios Iriri e Xingu), principalmente os municípios de São Félix do Xingu, Altamira e Tucumã; e à área da rodovia BR-163 (municípios de Novo Progresso, Itaituba e Trairão). No Amazonas, englobam a porção sul (Lábrea, Humaitá e Boca do Acre) e sudeste (Apuí, Manicoré e Novo Aripuanã). Três municípios - São Félix, Altamira e Novo Progresso - foram os campeões de desmatamento em área absoluta em toda a Amazônia no período 2001-2003 (Angelo, 2006).

Devido ao rápido crescimento nas taxas de desmatamento, simulações ou modelos dinâmicos, que trabalhem, por exemplo, com autômatos celulares, podem ser empregados com o objetivo de analisar os fatores deste processo (Soares-Filho *et al.*, 2001) e também para auxiliar a definição de ações conservacionistas para estas regiões.

Este trabalho tem como objetivo simular o desmatamento na região de São Félix, entre o período de 1997 a 2000, utilizando autômatos celulares como exercício para compreender os fatores condicionantes do desmatamento neste período.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

A área de estudo (**Figura 1**) compreende o município de São Félix do Xingu, no sudeste do Estado do Pará, cortado longitudinalmente pelo rio Xingu, um dos maiores tributários do rio Amazonas. O município de São Félix é campeão de desmatamento no Brasil nos anos de 2000 até 2005, data em que contabilizou 84.249 km² de área florestal desmatada, o que corresponde a 16% de sua área total (INPE, 2006). Processos intensos de ocupação e uso da terra, especialmente relacionados à atividade madeireira e agropecuária, são os principais responsáveis por este dinamismo (Escada *et al.*, 2005).

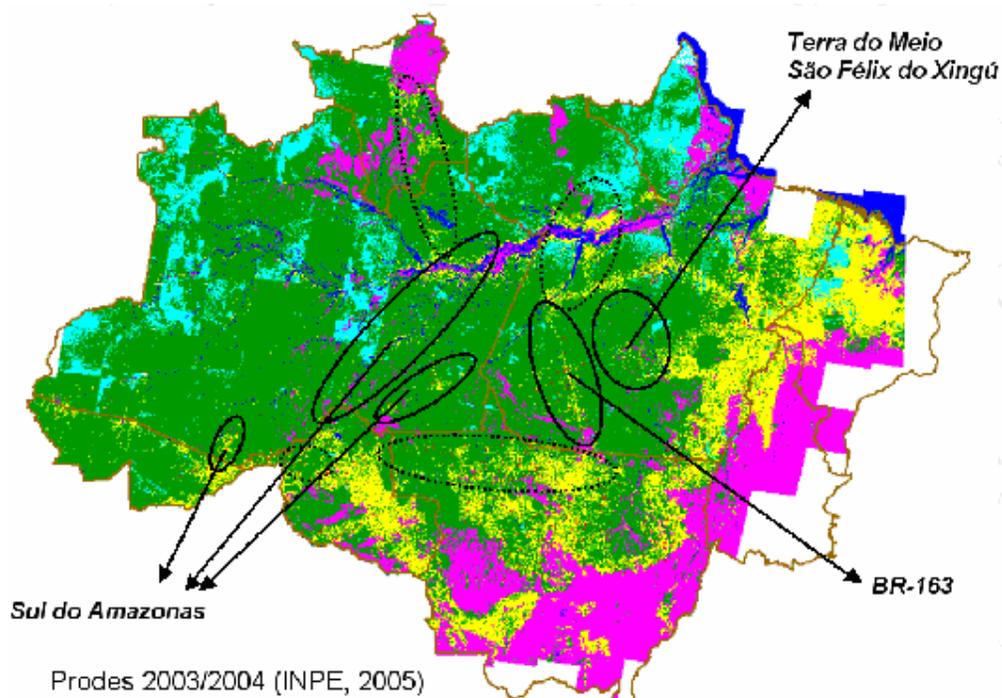


Figura 1: As novas fronteiras (Becker, 2005) e a localização da área de estudo, São Félix do Xingu- PA.

2.2 Modelo de Simulação – Dinâmica

O modelo de simulação espacial explícita de dinâmica da paisagem - DINAMICA 2.4 (Soares-Filho *et al.*, 2002) foi usado para gerar a simulação. Este software, produzido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais, é de domínio público e encontra-se disponível em <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>.

Para a simulação, os dados reais do desmatamento de 1997 a 2000 foram usados para identificar o processo de supressão da floresta na região. Um conjunto de variáveis relacionadas ao processo foi selecionado para, juntamente com os parâmetros da matriz de probabilidades de mudança e dos algoritmos de transição do DINAMICA, criar uma simulação do desmatamento para 2000.

Nas próximas seções, será tratada mais detalhadamente a metodologia aplicada em cada fase do processo de modelagem.

2.2 Dados de Desmatamento

O mapa de desmatamento original, contendo as classes de floresta, campos abertos, rios, desmatamento até 1997 e desmatamento de 1997 a 2000, foi adquirido a partir do projeto Prodes digital (**Figura 2**), disponível em <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. O processamento deste dado foi feito no programa Idrisi Kilimanjaro. O mapa do Prodes foi reclassificado de modo a gerar o mapa de uso do solo 1997 (**Figura 3**), mapa de uso do solo 2000 (**Figura 4**) e o mapa indicando as áreas de permanência de floresta, bem como de transição de floresta para áreas desmatadas (áreas de mudança) entre 1997 e 2000 (**Figura 5**).

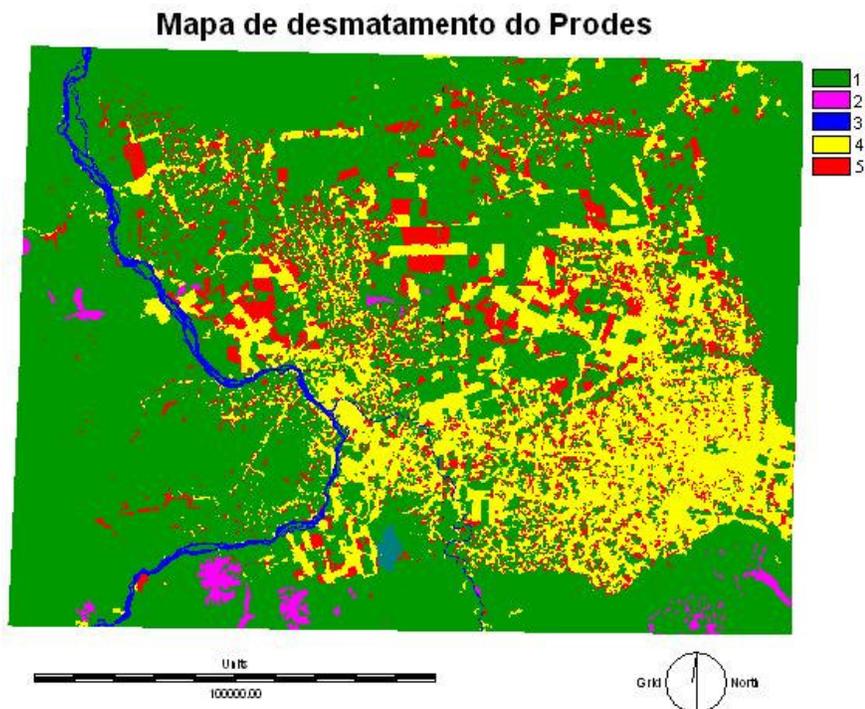


Figura 2: Mapa de desmatamento do Prodes de 1997 a 2000. Classe 1 - áreas de floresta; classe 2 - áreas de campos abertos; classe 3 - rio Xingu; classe 4 - áreas desmatadas até 1997; classe 5 - áreas desmatadas de 1997 a 2000.

Mapa de uso 1997

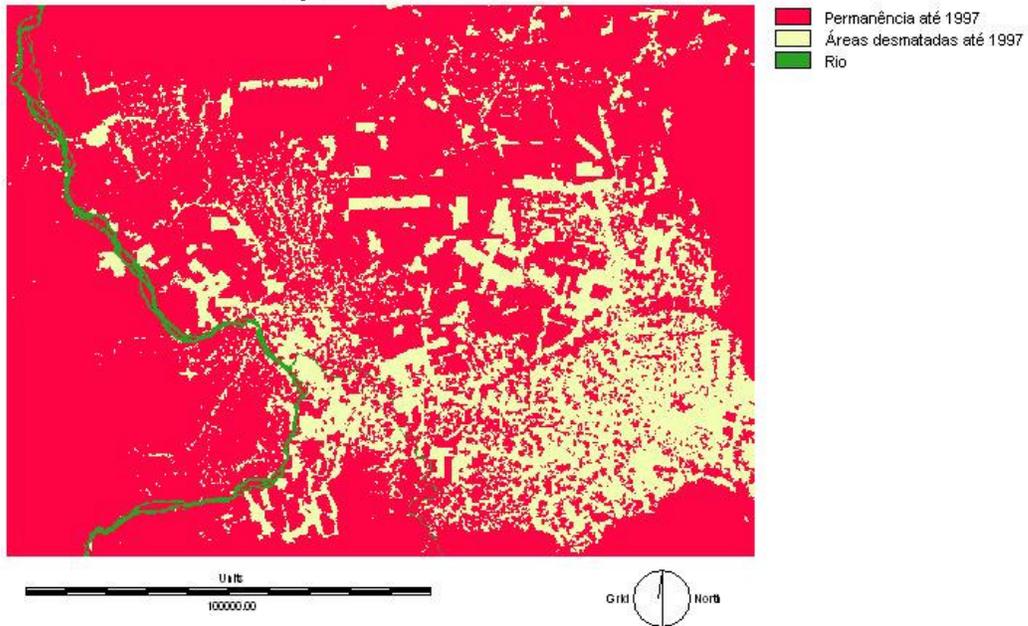


Figura 3: Mapa de uso de 1997.

Mapa de uso 2000

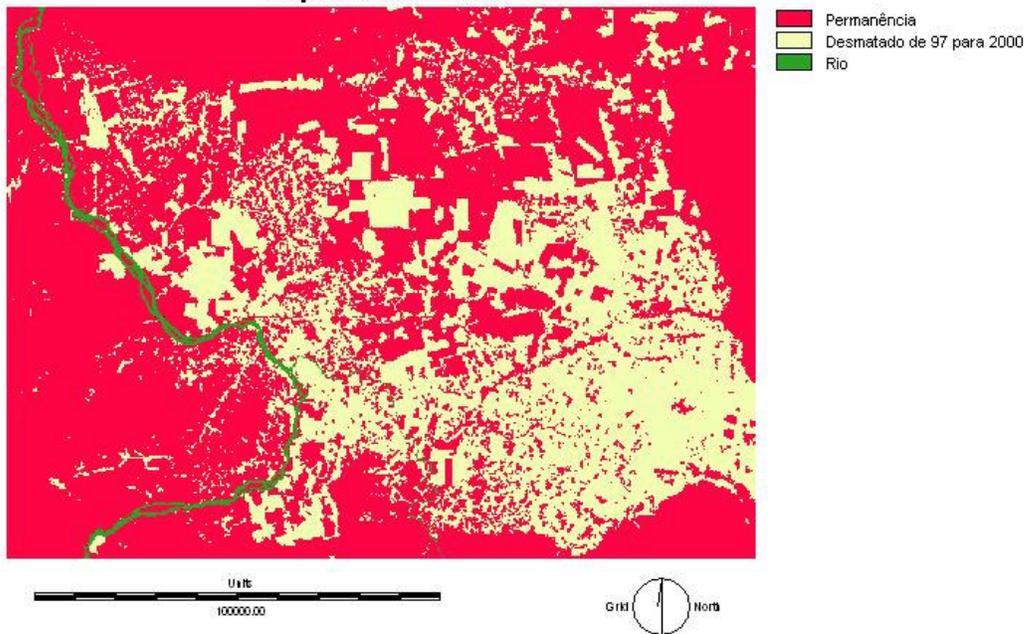


Figura 4: Mapa de uso 2000.

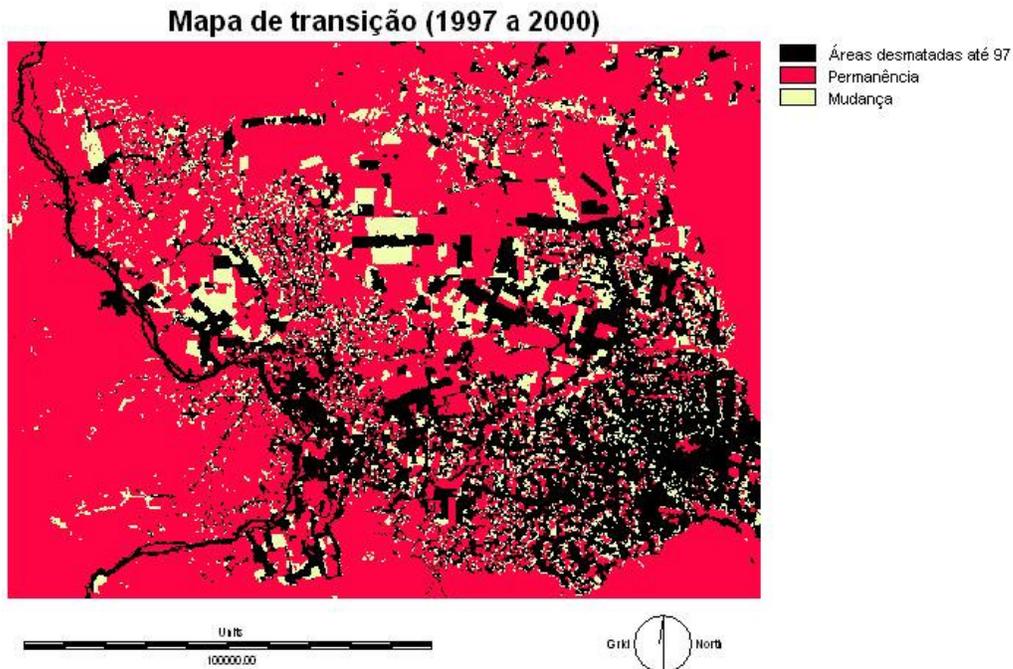


Figura 5: Mapa de transição de 1997 para 2000.

2.3 Variáveis Explicativas

A escolha das variáveis é um fator determinante para o sucesso do modelo. Para tanto, foram testadas seis variáveis de distância em relação a: (i) estradas pavimentadas, (ii) estradas não pavimentadas, (iii) cidades, (iv) rios e (v) áreas desmatadas. Através de uma análise visual, pode-se perceber que as estradas e as cidades não são capazes de explicar o processo do desmatamento, pois nas regiões em que estas se localizam, a evolução do desmatamento já havia se consolidado em 1997, e mudanças de uso e cobertura não estavam mais presentes.

As únicas variáveis capazes de influenciar de forma mais consistente foram as variáveis de “distância a rios” e “distância às áreas já desmatadas em 1997”. De acordo com Alves (2002), o processo de desmatamento na região amazônica se expande em torno das áreas pioneiras – nas bordas das áreas desmatadas – confirmando, assim, a importância desta variável no modelo.

As variáveis estáticas foram construídas a partir dos arquivos reclassificados do Prodes, mapa de rios e áreas desmatadas até 1997 (mapa de uso inicial). Para o primeiro, foram geradas faixas de distância de 800m, 1700m, 2400m e acima de 2400m (**Figura 6**). Para as áreas desmatadas, foram definidas distâncias de 800m, 1200m, 2000m e acima de 2000m (**Figura 7**).

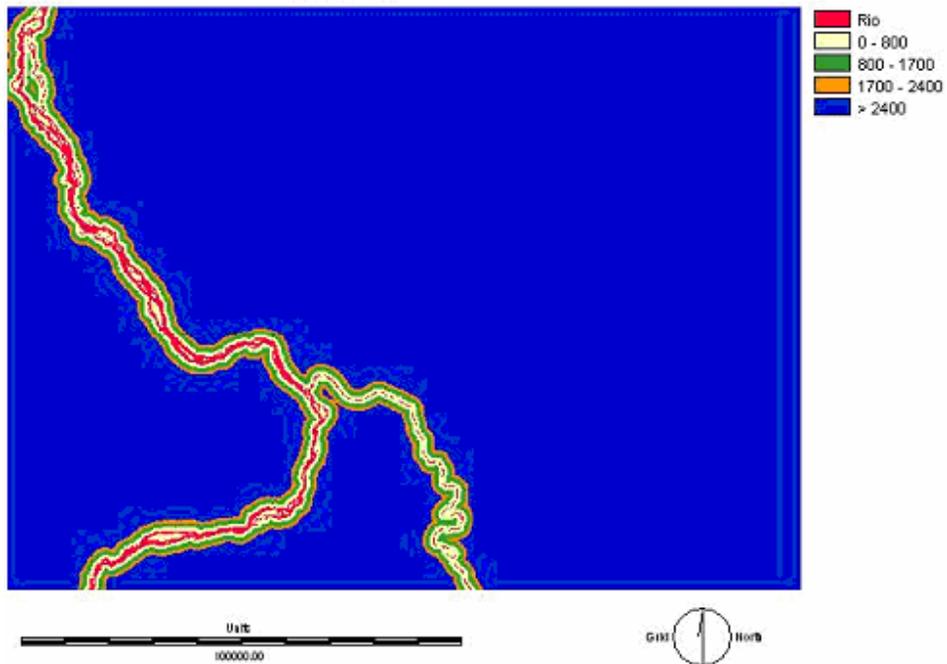


Figura 6: Variável estática “faixas de distância ao rio Xingu”, definidas em metros.

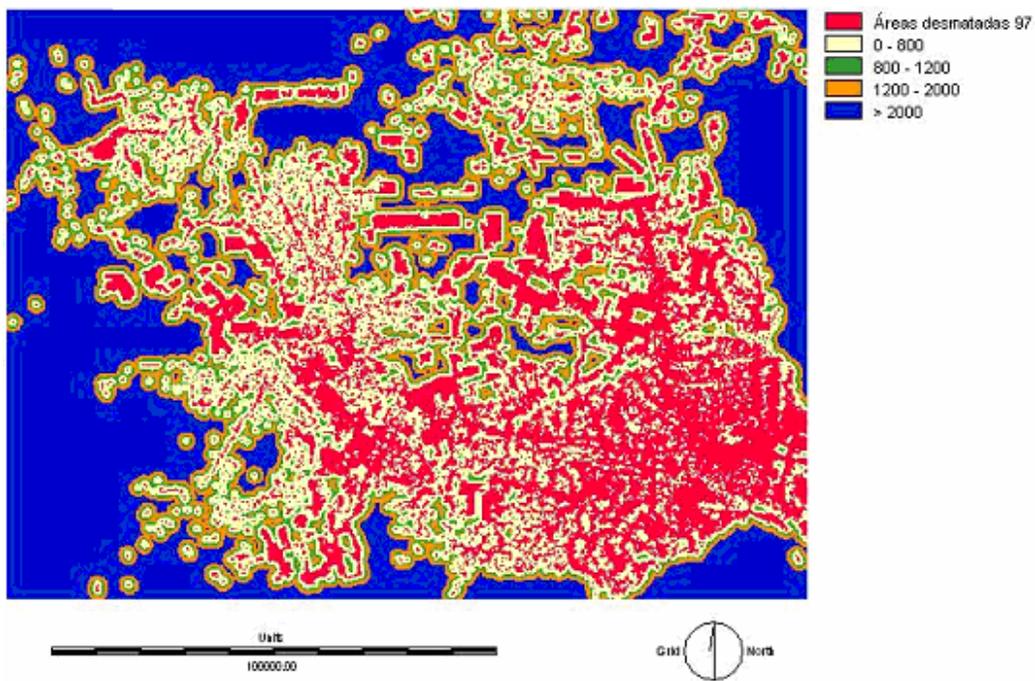


Figura 7: Variável estática “faixas de distância às áreas já desmatadas em 1997”, definidas em metros.

2.4 O Processo de Modelagem

A partir de uma análise visual, não se verificou a existência de formações de manchas de desmatamento geradas pelo algoritmo “patcher”, que simula o aparecimento de manchas ou áreas de desmatamento em meio à floresta. Desta forma, todas as transições da simulação foram produzidas pelo algoritmo “expandir”, o qual simula a ocorrência de manchas de desmatamento a partir da expansão de áreas previamente desmatadas.

2.4.1 Análise Exploratória dos Dados

As tabulações cruzadas foram geradas no Idrisi, as quais correspondem a operações de cruzamento entre mapas de uso, entre o mapa de transição de uso e variáveis estáticas, ou então, entre as próprias variáveis estáticas. Os resultados das tabulações entre as variáveis fornecem valores que são utilizados para a construção do índice de Cramer (**V**) e índice de incerteza de informação conjunta (**JIU** – *Joint Information Uncertainty*). Já os cruzamentos entre o mapa de transição de uso e as variáveis estáticas fornecem os chamados “pesos positivos de evidência” (**W+** - *Positive Weight of Evidence*), que indicam a atração entre uma determinada transição de uso, no caso o desmatamento, e uma dada variável estática. Quanto mais elevado o valor de **W+**, maior será a chance de ocorrer a transição em função da presença prévia da respectiva variável (Bonham-Carter, 1994). Para a obtenção dos valores de probabilidade global de mudança, isto é, o percentual total de área de floresta que será desmatada no período de estudo, foi feita uma operação de tabulação cruzada entre os mapas de uso inicial (1997) e final (2000).

O índice de Cramer obtido foi de 0,0485, confirmando que ambas variáveis previamente selecionadas poderiam ser empregadas simultaneamente no modelo. O JIU foi de 0,21, confirmando a permanência das duas variáveis no modelo. Este índice tende a ser mais robusto que o índice de Cramer, pois opera com base em valores percentuais da matriz de tabulação cruzada, ao passo que o segundo, o índice de Cramer, considera os valores absolutos da mesma matriz.

A probabilidade global de mudança de floresta para áreas desmatadas foi estimada em 10%. Os valores de **W+** encontram-se na **Tabela 1**.

Tabela 1: Pesos positivos de evidência (W+) das variáveis “distância a rios” e “distância às áreas desmatadas em 1997”, por faixa de distância.

Variáveis / faixas	Pesos de Evidência (W+)			
	1	2	3	4
Rios	-0,7837	-0,3813	-0,5066	0,0329
Áreas desmatadas	0,9613	-0,2252	-0,5516	-0,1849

Nota: Faixas de distâncias em metros

Rios: 1: 0-800; 2: 800-1200; 3: 1200-2000; 4: > 2000

Áreas Desmatadas: 1: 0-800; 2: 800-1700; 3: 1700-2400; 4: > 2400

3. Resultados

Com o objetivo de encontrar o melhor conjunto de parâmetros para alimentar o programa de simulação, foram gerados quatro modelos com tamanhos de mancha diferentes, alterando suas médias e variâncias, dadas em hectares. A variável “distância a rios” também foi avaliada, para determinar se sua contribuição era significativa para o modelo. Esta verificação foi motivada pelo fato dos valores de W+ desta variável apresentarem valores negativos. Entretanto, a partir do resultado da validação, constatou-se que esta seria importante para o modelo (**Tabela 2**). Somente na última faixa (acima de 2400 metros), esta variável se apresentou positiva, por isso acredita-se que esta faixa influenciou efetivamente nas transições do modelo.

Na **Tabela 2**, pode-se observar que os maiores valores do índice de similaridade fuzzy (Hagen, 2003), utilizado para avaliar a concordância entre a cena real e a simulada, foram encontrados no modelo que inclui a variável “distância a rios” e adota tamanho médio de mancha de 300 ha e variância de 500 ha.

As simulações (**Figuras 8 e 9**) apresentaram um índice de similaridade fuzzy de classificação “excelente”, segundo o critério proposto por Landis e Koch (1977) (**Tabela 2**), determinando a credibilidade das simulações.

Tabela 2: Resultado da validação para os quatro diferentes modelos, com valores distintos de tamanho médio de mancha e variância.

Modelos	Tamanho da Janela (Pixels)	Parâmetros das Manchas (ha)	ISF	Parâmetros das Manchas (ha)	ISF
Com a Variável "Distância a Rios"	1 x 1		0,8742		0,8690
	3 x 3		0,8856		0,8791
	5 x 5	$\mu = 300$	0,8988	$\mu = 500$	0,8906
	7 x 7	$\sigma^2 = 500$	0,9060	$\sigma^2 = 700$	0,8976
	9 x 9		0,9092		0,9014
Sem a Variável "Distância a Rios"	1 x 1		0,8729		0,8700
	3 x 3	$\mu = 300$	0,8844	$\mu = 500$	0,8801
	5 x 5	$\sigma^2 = 500$	0,8975	$\sigma^2 = 700$	0,8916
	7 x 7		0,9050		0,8988
	9 x 9		0,9082		0,9026

ISF = Índice de Similaridade Fuzzy

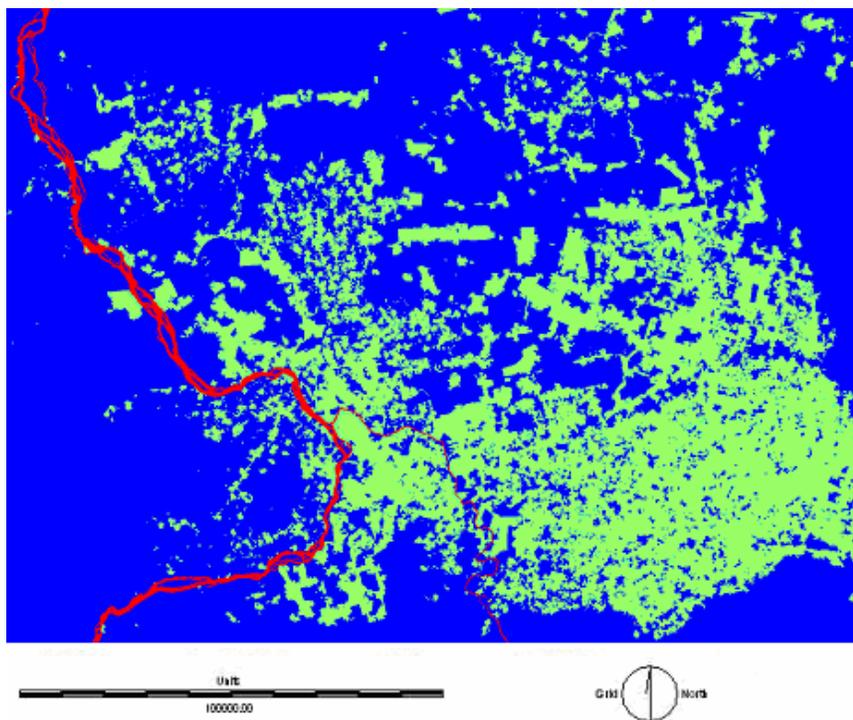


Figura 8: Resultado da simulação com tamanho médio de mancha de 300 ha e variância de 500 ha, incluindo a variável "distância a rios".

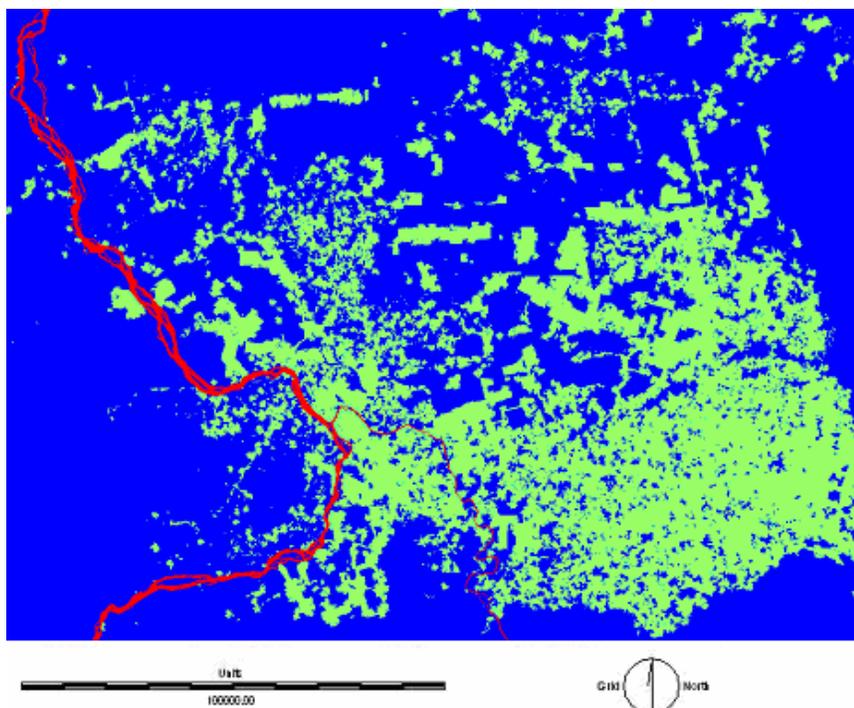


Figura 9: Resultado da simulação com tamanho médio de mancha de 300 ha e variância de 500 ha, excluindo a variável “distância a rios”.

Comparando as simulações com o mapa de uso final pode se perceber que a forma retangular gerada pelo desmatamento real na parte central superior da área de estudo, não foi reproduzida em nenhum das simulações. Contudo, o padrão espacial de distribuição das áreas desmatadas das simulações e da cena real (mapa de uso 2000), foram ratificadas pelos valores de similaridade fuzzy.

4. Conclusões

A principal variável responsável pelos resultados satisfatórios das simulações foi “distância a áreas desmatadas em 1997”, confirmando as afirmações anteriores sobre o padrão de difusão do desmatamento em torno das áreas pioneiras (Alves, 2002; Aguiar, 2006). Assim, conclui-se que as simulações geradas pelo modelo representaram com eficiência os processos do desmatamento na região de São Félix do Xingu.

5. Referências Bibliográficas

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia:** explorando a heterogeneidade intra-regional. 2006. 204 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Revista de Estudos Avançados**, v.19, n.53, p.71-86, 2005.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists:** Modelling with GIS. Ontario: Pergamon, 1994.

ESCADA, M. I. S.; VIEIRA, I. C.; KAMPEL, S. A.; ARAÚJO, R.; VEIGA, J. B.; AGUIAR, A. P. D.; OLIVEIRA, I. V. M.; PEREIRA, J. L. V.; FILHO, A. C.; FEARNESIDE, P. M.; VENTURIERI, A.; CARRIELLO, F.; THALES, M.; CARNEIRO, T. S. G.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia (o interflúvio do Xingu/ Iriri). **Estudos Avançados**, v. 19, n.54, p. 9-23, 2005.

ANGELO, C. Grilagem muda geografia da devastação. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u13243.shtml> >. Acesso em: 14 de dez. 2006.

HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2003, Palma, Spain. **Anais...** Palma: Universitat de les Illes Balears, 2003. p. 171–182.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2006. disponível em:< <http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em 13. jun. 2006

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.

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