

## Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia

Amintas de Oliveira Brandão Júnior<sup>1</sup>  
Carlos Moreira Souza Júnior<sup>1</sup>  
Júlia Gabriela Ferreira Ribeiro<sup>1</sup>  
Márcio Henrique Ribeiro Sales<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon  
Caixa Postal 5101 - 113-000 - Ananindeua - PA, Brasil  
{brandaojr, souzajr, juliagabriela, marciosales}@imazon.org.br

**Abstract.** In this study we evaluated the impacts of roads on deforestation in the Brazilian Amazon. We aim to answer two questions: i) how deforestation varies as a function of distance to official and unofficial roads? And, ii) how do unofficial roads affect deforestation risk model? We built probabilistic deforestation risk models for that purpose. The models were based on roads from Imazon for 2003, and deforestation data generated by Prodes for the years 2003, 2004 and 2005. Our results pointed out that forested regions closer to the roads (> 5 km) have the highest risk of deforestation when all roads (official and unofficial) are taken into account. The model that used only official roads did not perform as well as the model that used all roads to predict where deforestation is most likely to take place. Therefore, unofficial roads are key information for deforestation risk models in the Amazon.

**Palavras-chave:** roads, deforestation, Landsat images, estradas, desmatamento, imagens Landsat.

### 1. Introdução

Estradas são os principais vetores de ocupação da Amazônia. Dois tipos de estradas predominam na região: estradas oficiais e não-oficiais. As primeiras conectam a região Norte ao resto do Brasil e foram construídas principalmente pelo governo federal na década de 70. As estradas não-oficiais, possuem abrangência local e não aparecem nos mapas oficiais do Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte (DNIT) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em geral essas estradas foram construídas pela iniciativa privada, sem incentivos governamentais, para facilitar a exploração e o acesso aos recursos naturais e terras da Amazônia (Brandao Jr. e Souza Jr., 2006).

É possível mapear e monitorar as estradas não-oficiais com imagens do satélite Landsat (Brandão Jr e Souza Jr., 2006). Estradas não-oficiais foram mapeadas na região do Centro-Oeste do Estado do Pará, e ao longo das rodovias BR-230 e BR-163. Como resultado, foi mapeado um total de 20.769 km de estradas não-oficiais que avançaram a taxa média de 1.890 km por ano entre 1990 e 2001, principalmente, fora de Áreas Protegidas. As informações geradas no mapeamento das estradas não-oficiais são úteis para avaliar a pressão antrópica na Amazônia, identificar áreas prioritárias para fiscalização e ordenamento fundiário (Souza Jr. et al., 2004), bem como, para modelagens de alcance econômico de atividades produtivas e de risco de desmatamento.

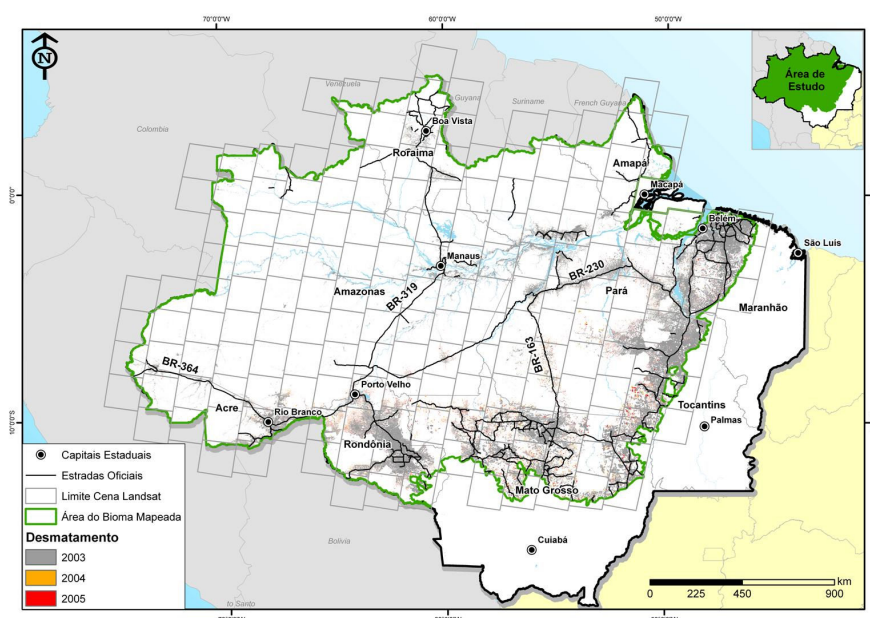
As estradas representam um grande dilema: ajudam a reduzir o isolamento dos habitantes das áreas rurais e a melhorar sua qualidade de vida, mas geram impactos ambientais (Perz et al., 2005). Diversos estudos apontam para uma forte relação entre as estradas oficiais com o desmatamento da Amazônia (Chomitz e Thomas, 2001; Nepstad et al., 2001; Soares-filho et al. 2004; Ferreira et al. 2005). Contudo, ainda é pouco conhecido o impacto das estradas não-oficiais no desmatamento. Neste estudo, avaliamos a relação do desmatamento com as estradas oficiais e não-oficiais. Pretendemos responder duas perguntas: i) como o desmatamento varia em função da distância às estradas oficiais e não-oficiais? E, ii) qual importância deste tipo de informação na modelagem de risco de desmatamento?

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma área de 3,92 milhões de km<sup>2</sup> na porção brasileira do Bioma Amazônia (**Figura 1**). Esta região representa 78% da Amazônia Legal (área de 5 milhões de km<sup>2</sup>) e abrange os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima e Rondônia. Até 2005 mais de 16 milhões de habitantes viviam na área do Bioma (IBGE, 2005), principalmente no entorno das capitais estaduais e das principais rodovias da região.

As atividades econômicas da região estão ligadas ao uso de recursos naturais como a exploração madeireira, agricultura e pecuária. Estas atividades representam mais de 15% do Produto Interno Bruto (PIB) da área de estudo e movimentam valores superiores a 2,5 bilhões de dólares por ano (FAOR, 2005). As estradas são importantes para o acesso aos recursos naturais e para transporte da produção na região, além de facilitarem o acesso das populações locais às escolas, hospitais e aos centros urbanos (Perz et al., 2005).



**Figura 1.** Localização da área de estudo em relação ao limite da Amazônia Legal.

### 2.2 Imagens Landsat

A área de estudo é coberta por 180 cenas Landsat (TM/ETM+) (**Figura 1**). Para o mapeamento das estradas, utilizamos imagens com percentual de nuvem inferior a 10% coletadas entre os meses de maio e novembro de 2003. Foram adquiridas 54 cenas do Programa de Monitoramento Florestal da Amazônia Brasileira (PRODES) (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>) e 18 do *Global Land Cover Facility* (GLCF) (<http://glcf.umiaccs.umd.edu/index.shtml>). Do restante, 103 foram adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), quatro do *Tropical Rain Forest Information Center* (TRFIC) e 1 cena da Engesat Imagens de Satélite.

### 2.3 Georreferenciamento das imagens Landsat

As imagens Landsat de 2003 foram georreferenciadas às imagens GeoCover 2000 disponíveis do site (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>) utilizando o *software* ENVI 4.2 (RSI, 2005). Neste processo aplicamos o algoritmo de vizinhança mais próxima, polinômio de grau dois, com

mínimo de 40 pontos de controle (*Ground Control Points – GCP*). O erro máximo aceitável (*Root Mean Square Error – RMS*) foi inferior a meio *pixel*.

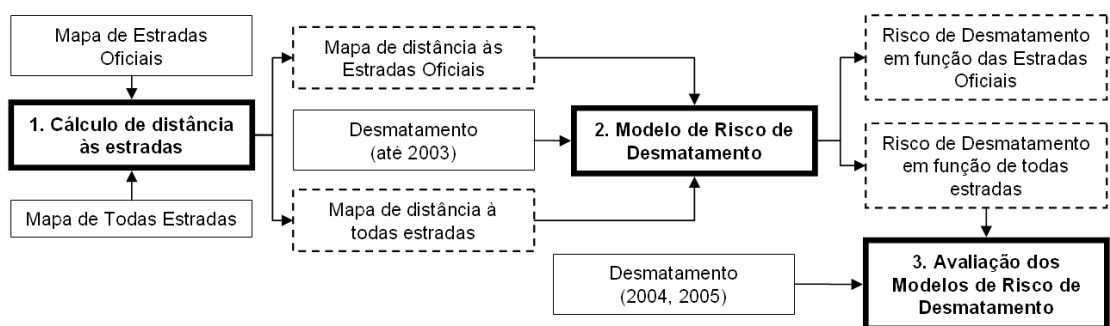
## 2.4 Mapeamento e classificação das estradas

Identificamos e mapeamos as estradas através da interpretação visual das bandas 3 e 5 das imagens Landsat, (0.63-0.69  $\mu\text{m}$  e 1.55-1.75  $\mu\text{m}$ , respectivamente). O mapeamento foi conduzido com o *software* ArcGIS 9.1 (ESRI, 2005), na escala de 1:50.000. Nas bandas 3 e 5 o solo exposto das estradas aparece com maior brilho contrastando com as áreas de floresta densa, desmatamento, corpos de água ao seu redor. As estradas são distintas de outras feições lineares, como lineamentos geológicos e linhas de transmissão, devido as suas características espectrais e arranjo espacial (Brandão Jr. e Souza Jr., 2006).

Classificamos as estradas em três categorias: oficiais, não-oficiais e de assentamentos. As estradas digitalizadas que coincidiram com o mapa de estradas oficiais do IBGE de 2001 foram classificadas como tal. Aquelas localizadas nos limites de assentamentos de reforma agrária do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), foram classificadas como estradas em assentamentos. E as estradas restantes foram classificadas como estradas não-oficiais.

## 2.5 Avaliação do risco de desmatamento em relação à distância das estradas

Estimamos o risco do *pixel* correspondente à floresta ser desmatado dado qualquer distância da estrada mais próxima. Para isto, combinamos o mapa de estradas com os mapas de desmatamento acumulado até 2003 e dos incrementos anuais de 2004 e 2005. Os modelos de risco de desmatamento foram construídos considerando: i) somente as estradas oficiais e ii) todas as estradas (**Figura 2**).



**Figura 2.** Modelos de risco de desmatamento em função da distância às estradas.

- **Cálculo de distância às estradas:** construímos mapas de distância (com célula de 1 km x 1 km) às estradas oficiais e a todas as estradas utilizando o *software* ArcGIS 9.1 (ESRI, 2005). No mapa de distância, cada célula possui um valor referente à distância linear da estrada mais próxima. Combinamos então os mapas de desmatamento até 2003 e de incremento de desmatamento (2004 e 2005) com o mapa de distância às estradas. Isso permitiu estimar para cada célula desmatada a distância perpendicular a estradas mais próxima.
- **Modelo de risco de desmatamento:** utilizamos como variável de entrada a distância das células desmatadas até 2003 para os dois modelos (somente estradas oficiais e todas as estradas). Em seguida, construímos o histograma do desmatamento em função da distância às estradas, considerando 100 faixas de distâncias. As faixas de distância foram definidas automaticamente pelo *software*. A largura de cada faixa foi calculada pela distância máxima dividida pelo número de faixas. Isso permitiu estabelecer uma

função empírica da distribuição das frequências das células desmatadas em relação às faixas de distância. O próximo passo foi ajustar uma função contínua à função empírica. Para isso, utilizamos uma função de regressão não-linear (função *nlinfit* do software MatLab). Isso permitiu criar uma função de probabilidade (risco) de desmatamento em relação às estradas oficiais e a todas as estradas. Essa função foi aplicada aos mapas de distâncias para obter as superfícies de probabilidade de desmatamento, definindo assim os modelos de risco de desmatamento.

- **Avaliação dos modelos de risco de desmatamento:** por último, avaliamos os modelos de risco de desmatamento combinando os mapas de incremento de desmatamento de 2004 e 2005 com as superfícies de probabilidade de desmatamento. Dessa forma, foi possível avaliar se as regiões com alta probabilidade (risco) de desmatamento [definidas a partir do desmatamento acumulado até 2003] foram as mais desmatadas em 2004 e 2005.

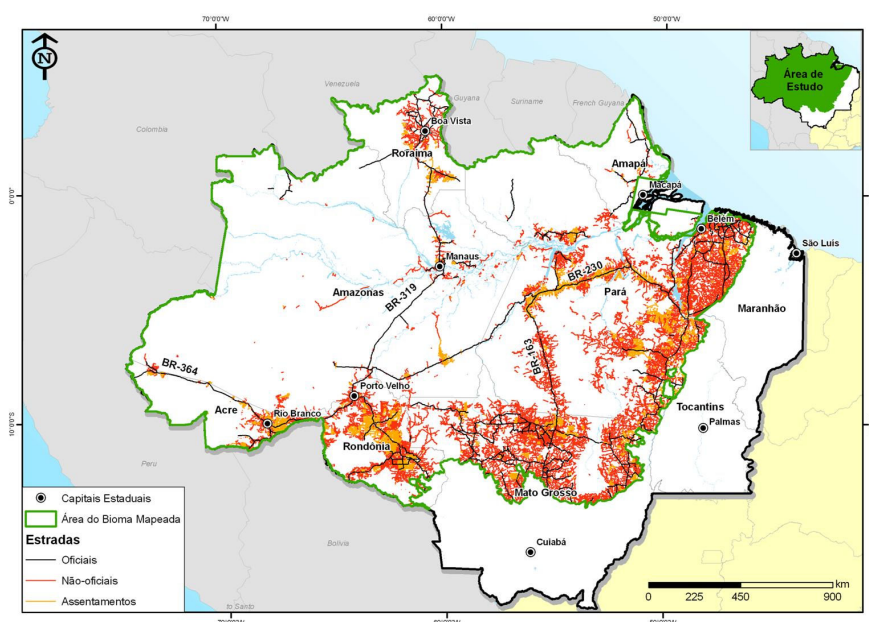
### 3. Resultados

#### 3.1 Extensão e geografia das estradas

Mapeamos 241.749 km de estradas até 2003 (**Tabela 1**). Um total de 172.405 km (71% das estradas mapeadas) foi classificado como estradas não-oficiais. Do restante, 25.074 km são estradas oficiais e 44.270 km são estradas em assentamentos. As estradas não-oficiais concentram nos Estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, totalizando 150 mil km (87% das estradas não-oficiais) (**Figura 3**).

**Tabela 1.** Extensão das estradas mapeadas até 2003.

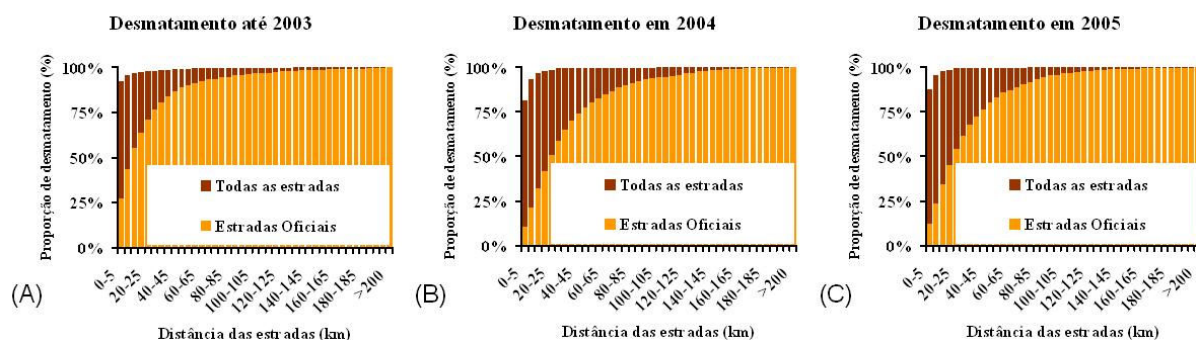
Estrada	Extensão (km)	% do total
Oficial	25.074	10%
Não-oficial	172.405	71%
Em assentamentos	44.270	18%
<b>Total</b>	<b>241.749</b>	<b>100%</b>



**Figura 3.** Estradas mapeadas até 2003 na área de estudo.

### 3.2 Distribuição do desmatamento em relação à distância das estradas

Grande parte (92%) da área desmatada até 2003 concentrou-se até cinco quilômetros de todas as estradas. Quando se considera apenas as estradas oficiais, 27% do desmatamento concentraram nesta faixa (**Figura 4A**). Este tipo de informação é útil para definir a distância as que mais contribuem para o desmatamento. Por exemplo, para as estradas oficiais a proporção do desmatamento cresce rapidamente até 50 km, estabilizando a partir deste ponto até 200 km. No caso de todas as estradas, o desmatamento cresce até 10 km, com pequenos incrementos até 200 km.



**Figura 4.** Desmatamento acumulado até 2003 (A) e incrementos de desmatamento acumulado de 2004 (B) e 2005 (C) em função da distância às estradas oficiais e a todas as estradas.

Os incrementos de desmatamento de 2004 e 2005 estão mais distantes das estradas oficiais e mais próximos de todas as estradas. Em média, 80% do incremento de desmatamento concentrou-se nos primeiros cinco quilômetros de todas as estradas. Quando considera-se apenas as estradas oficiais, apenas 11% do incremento de desmatamento ocorrem nesta faixa (**Figura 4B-C**). Observamos que a quase totalidade do desmatamento de 2004 e 2005 ocorreu até 45 km de todas as estradas. Contudo, pouco mais de 50% do desmatamento anual concentrou-se na faixa de até 45 km às estradas oficiais.

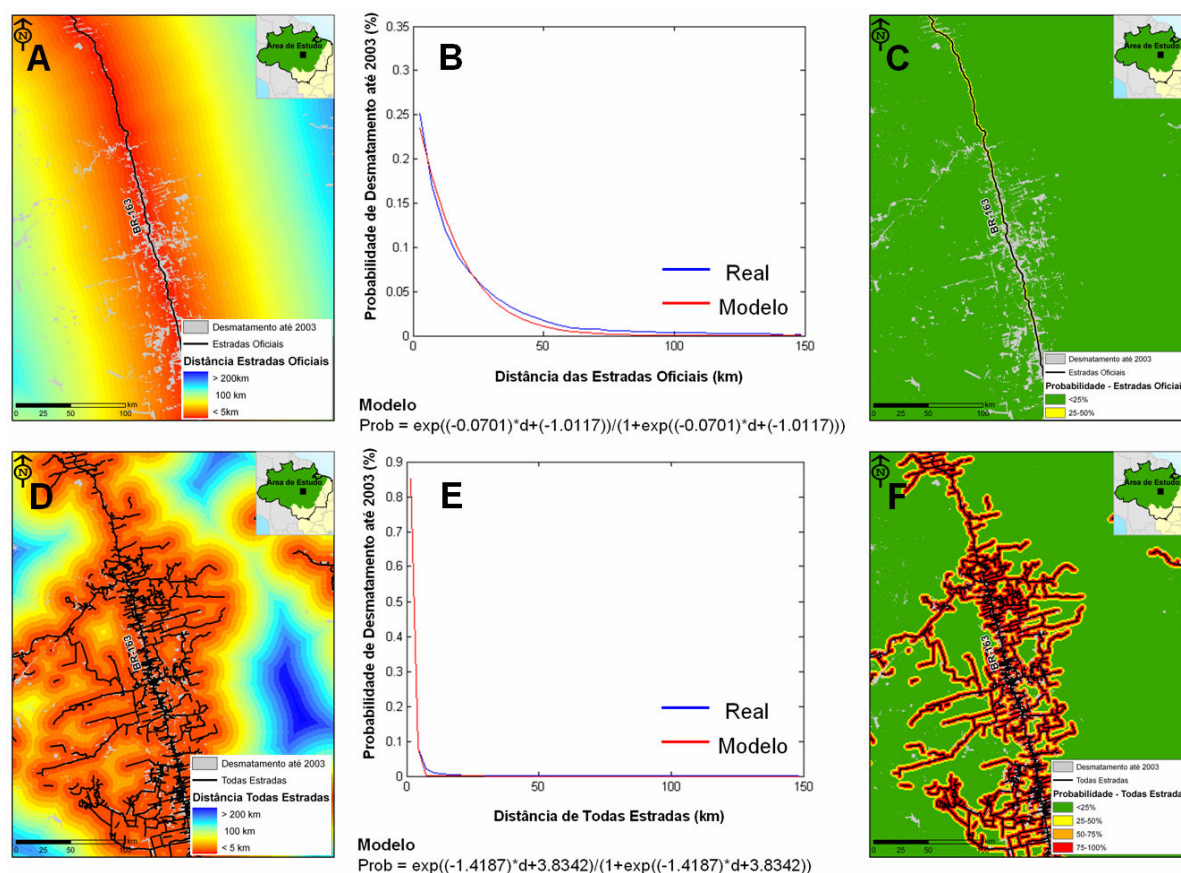
As curvas do desmatamento acumulado e dos incrementos de desmatamento em função da distância mostraram padrões similares para todas as estradas, e distintos quando se considera apenas as estradas oficiais (**Figura 4**). Observamos que grande parte de incremento de desmatamento (80% em média) concentrou na faixa até cinco quilômetros a todas as estradas, a qual corresponde a faixa que concentra (92%) o desmatamento acumulado até 2003.

### 3.3 Áreas críticas do desmatamento

As análises mostraram que o desmatamento se distribui exponencialmente em função da distância às estradas (**Figura 5**), tanto para estradas oficiais quanto para todas as estradas. Isto indica que o risco de desmatamento diminui drasticamente nas áreas mais distantes às estradas. Reproduzimos este comportamento com um modelo exponencial a partir dos dados de desmatamento até 2003.

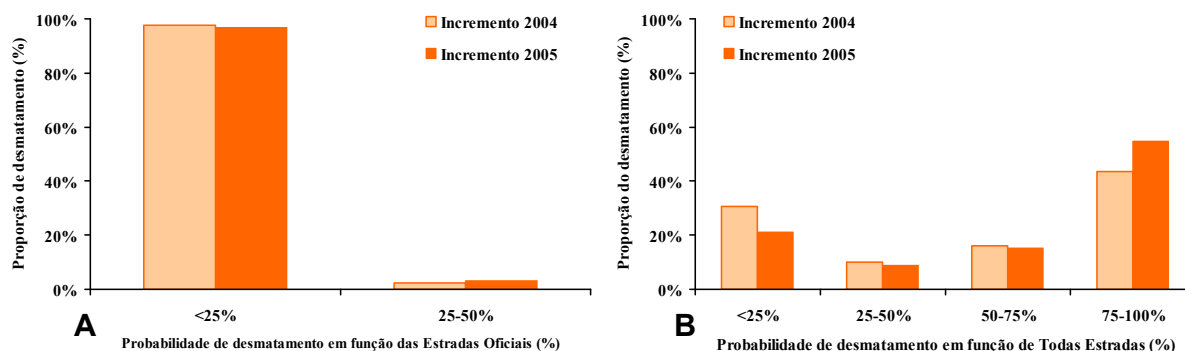
Os modelos de risco de desmatamento em função da distância às estradas são diferentes quando se considerada apenas as estradas oficiais ou todas as estradas (**Figura 5B-E**). Enquanto que o modelo de risco gerado com apenas as estradas oficiais apresentou probabilidade máxima de desmatamento de 25%, a probabilidade máxima para o modelo com todas as estradas foi de 85%. Além disso, a curva probabilidade de desmatamento estende-se até 100 km no primeiro modelo, mas apenas aos primeiros 10 km no segundo modelo. Isso

implica que as estradas não oficiais exercem alterações de forma drástica nos modelos de risco de desmatamento, aumentando a sua probabilidade nas proximidades dessas estradas (**Figura 5**).



**Figura 5.** – Modelos de risco de desmatamento em função da distância das estradas: (ABC) somente estradas oficiais; e (DEF) todas as estradas.

O modelo de risco construído considerando somente as estradas oficiais não explicou grande parte dos incrementos de desmatamento em 2004 e 2005. Quando combinamos os incrementos de desmatamento de 2004 e 2005, com os mapas de risco às estradas oficiais, observamos que 97% dos novos desmatamentos concentraram-se nas zonas de risco <25%, ou seja, o modelo não possui utilidade para prever os novos desmatamentos (**Figura 6A**).



**Figura 6.** – Incrementos de desmatamento de 2004 e 2005 em relação aos mapas de risco de desmatamento: (A) apenas estradas oficiais; e (B) todas as estradas.

Analisando o modelo construído a partir de todas as estradas, observamos que em média 55% dos incrementos de desmatamentos ocorreram nas zonas com maior risco (>75%) (**Figura 6B**). Cerca de 15% do incremento de desmatamento ocorreu na zona de risco entre 50% e 75%, e 10% entre 25% e 50%. Aproximadamente 25% do incremento de desmatamento de 2004 e 2005 ocorreu na faixa de baixo risco (<25%). Este padrão pode ter ocorrido porque o modelo não inclui as estradas não-oficiais abertas depois de 2003. Além disso, outras variáveis (como topografia, rios, e fatores econômicos) que também podem estar influenciando não foram incluídas. Mesmo com essas limitações, o modelo de risco de desmatamento em função da distância a todas as estradas é uma ferramenta poderosa para indicar as zonas de risco de desmatamento.

#### 4. Discussão e conclusão

Diversos modelos já foram construídos para estimar o desmatamento da Amazônia. Os que mais se destacaram foram o *Conversion of Land Use and its Effects* (CLUE), o DINAMICA e os modelos desenvolvidos por Laurance et al. (2001). O CLUE vem sendo desenvolvido na *Wageningen Agricultural University*, Holanda (GEOMA, 2002). É um modelo que utiliza regressão linear para espacializar mudanças na paisagem. Já foi utilizado em vários países para analisar mudanças de culturas agrícolas. Recentemente, em 2006, foi aplicado no Projeto "Modelagem da Biodiversidade do Interflúvio Madeira-Purus: Bens Naturais e Impactos Antrópicos" para avaliar os efeitos da pavimentação da BR-319 localizada no Estado do Amazonas e da criação de áreas protegidas neste região (GEOMA, 2006). O DINAMICA é um modelo desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Sua modelagem baseia-se em autômato celular com regras de transição estocásticas. Já foi aplicado em vários estudos e é uma das plataformas base do projeto *Modeling Amazon Scenarios* do *Woods Hole Research Center* (<http://www.whrc.org/amazscen/index.htm>). Laurance et al. (2001), desenvolveram dois modelos computacionais que integraram dados espaciais (como desmatamento, estradas, minas, entre outros) com os projetos de infra-estrutura para prever as condições da Amazônia para o ano de 2020.

Demonstramos que as estradas não-oficiais explicam grande parte do desmatamento na Amazônia. Portanto, os modelos acima podem se beneficiar com este tipo de informação. Modelos que utilizam apenas as estradas oficiais são limitados porque essas estradas estão distantes das fronteiras atuais de desmatamento.

#### 5. Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Gordon e Betty Moore pelo apoio a este estudo.

#### Referências

Brandao Jr., A.; Souza Jr., C. Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 1, p. 177-189, 2006.

Chomitz, K.M.; Thomas, T.S. Geographic patterns of land use and land intensity in the Brazilian Amazon. **World Bank Policy Research Working Paper**, n. 2687, Washington D.C., 2001.

Ferreira, L.V.; Venticinque, E.; Almeida, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

Fórum da Amazônia Oriental (FAOR). Exploração madeireira. 2005. Disponível em: <<http://www.faor.org.br/exp-mad.html>>. Acesso em: 17 out. 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Base cartográfica do Brasil ao milionésimo, 2001. Disponível em: <[www2.ibge.gov.br/pub/Cartas\\_e\\_Mapas/Carta\\_Internacional\\_ao\\_Milionesimo/shpape](http://www2.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas/Carta_Internacional_ao_Milionesimo/shpape)>. Acesso em: 16 març. 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Brasil por Estado. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/Estadosat/>>. Acesso em: 10 out. 2006.

GEOMA. Projeto Científico e Institucional, Versão 10, 2002. Disponível em: <<http://www.geoma.incc.br/pdfs/versao10.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

GEOMA. Projeto "Modelagem da Biodiversidade do Interflúvio Madeira-Purus: Bens Naturais e Impactos Antrópicos", 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/thanisse/geoma/>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

GIS and Mapping Software, Inc. (ESRI). ArcMap 9.1. Seattle, WA, USA, 2005.

Laurance, W.; Cochrane, M.A.; Bergen, S.; Fearnside, P.; Delamônica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S. e Fernandes, T. The Future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438 – 439, 2001.

Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A.C.; Alencar, A.; Capobianco, J.P.; Moutinho, P.; Lefebvre, P. Road paving, fire regime feedbacks, future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 5524, p. 1–13, 2001.

Perz, S. G.; Souza Jr.; C.; Arima, E.; Caldas, M.; Brandão Jr., A.; Souza, K.; Walker, R. O dilema das estradas não-oficiais na Amazônia. **Ciência Hoje**. v. 37, n. 222, p. 56-58, 2005.

Research Systems, Inc. (RSI). The Environment for Visualizing Images – ENVI. . Boulder, CO, USA, 2005.

Soares-Filho, B.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G.; Diaz, M.D.C.V.; Riveiro, S.; Solorzanos, 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, p. 745–764, 2004.

Souza Jr., C., Brandão Jr., A., Anderson, A., Veríssimo, A. Avanço das estradas endógenas na Amazônia, 2004. Disponível em: <[http://www.downloads.myw.com.br/pdf/amazonia\\_em\\_foco.pdf](http://www.downloads.myw.com.br/pdf/amazonia_em_foco.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2004.