

## Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma

Aurora Miho Yanai<sup>1</sup>  
Philip Martin Fearnside<sup>1</sup>  
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Av. André Araújo, 2936, Aleixo - 69060-001 - Manaus - AM, Brasil  
{yanai, pmfearn, pmlag} @inpa.gov.br

**Abstract.** In Amazonia, the Juma Sustainable Development Reserve was the first protected area to be benefited by a Reducing Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) project. However, the possibility of obtaining carbon credits through REDD projects may be compromised by the effect of leakage. The aim of this study was to analyze the effect of creating the Juma reserve considering a period of 42 years (2008-2050) by simulating three scenarios: baseline scenario (without the Juma reserve), a scenario with leakage (CV) where the creation of the reserve would cause a shift in deforestation, and a scenario with reduced leakage (CVR), where leakage is reduced. Considering the study area as a whole the simulation shows that by 2050 there would be a reduction in forest cover of 16.0% (14,695 km<sup>2</sup>) in the baseline scenario, 15.9% (14,647 km<sup>2</sup>) in the CV scenario and 15.4% (14,219 km<sup>2</sup>) in the CVR scenario, as compared to what was present in 2008. The loss of forest cover within the limits of the Juma reserve by 2050 would be 18.9% (1,052.4 km<sup>2</sup>) in the baseline scenario and 7.1% (394.9 km<sup>2</sup>) in the CV and CVR scenarios, as compared to what was present in 2008.

**Palavras-chave:** environmental modeling, leakage, protected areas, modelagem ambiental, vazamento, áreas protegidas.

### 1. Introdução

Historicamente, as áreas de maior concentração do desmatamento na Amazônia estão localizadas ao longo do arco do desmatamento, ao qual faz parte o sul do Amazonas (Becker, 2005). O desmatamento nessa região é um fenômeno atribuído a diversos fatores, tais como a conversão de floresta em pastagens, o corte e a queima de floresta para cultivos, a abertura de estradas ilegais, as quais expõem extensas áreas de floresta intacta a exploração madeireira predatória e a grilagem de terras (Alencar et al., 2004). Neste sentido, áreas sob proteção desempenham um papel importante na diminuição do desmatamento, proteção da diversidade biológica, manutenção das funções de ciclagem de água na floresta e na redução do efeito estufa por evitar as emissões de carbono (Fearnside, 2008).

Em julho de 2006, o Governo do Estado do Amazonas criou a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Juma. A criação e implementação desta reserva foi possível devido à perspectiva de efetivação de um mecanismo financeiro de geração de créditos de carbono oriundos do projeto de Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação (REDD) na área da reserva (Viana et al., 2008). Este projeto tem o propósito de proteger os recursos florestais, evitando o desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa na área da reserva (IDESAM, 2009).

Este estudo foi realizado com o intuito de simular o efeito da criação da RDS do Juma num período de 42 anos (2008-2050) utilizando ferramentas de modelagem ambiental. Através dos modelos de simulação é possível projetar os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra e assim, melhorar a compreensão das mudanças ocasionadas no ecossistema ao longo do tempo pelas atividades humanas (Mazzotti e Vinci, 2007).

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

Este estudo compreendeu os limites da RDS do Juma e a sua área de entorno (*buffer* de 120 km). O objetivo de utilizar um *buffer* foi de incluir na modelagem os municípios circunvizinhos (Apuí e Manicoré) e as rodovias (AM-174 e trechos da BR-319 e BR-230), que possuem influencia no processo de ocupação na região da reserva do Juma. Desta maneira, a área de estudo abrange uma área total de 9.742.624,8 ha (Figura 1). A RDS do Juma localiza-se no município de Novo Aripuanã e abrange uma área de 589.611,3 ha na margem esquerda do rio Madeira. A rodovia AM-174, conecta os municípios de Novo Aripuanã e Apuí, atravessando a RDS do Juma de norte a sul com uma distância de 290 km (Carrero, 2009). A região da RDS do Juma tem o clima equatorial com temperatura variando entre 26°C a 27,2°C. O período chuvoso vai de outubro a maio e o período seco vai de junho a dezembro (SDS, 2010).

O desmatamento na área de reserva do Juma concentra-se principalmente em áreas exploradas e degradadas ao longo da rodovia AM-174 resultante da extração de madeira ilegal (Figura 2a e Figura 2b) e em áreas de uso comunitário, sendo ocasionado pela prática da agricultura familiar (IDESAM, 2009). Outras atividades como a mineração, pecuária e a pesca predatória também têm contribuído para a perda dos recursos naturais na RDS do Juma. De acordo com o PRODES, o desmatamento acumulado na RDS do Juma em 2009 abrangeu uma área de aproximadamente 68,3 km<sup>2</sup> (1,2%) da área total da reserva. O município de Apuí tem apresentado um crescimento populacional associado à expansão da atividade pecuária, resultando em um aumento na taxa de desmatamento na região (Figura 2c).

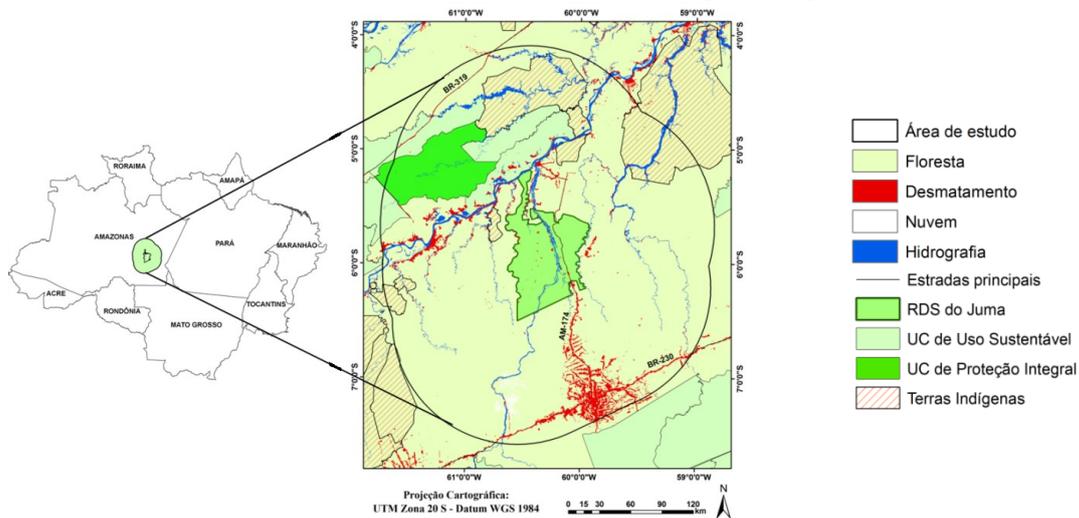


Figura 1. Área de estudo



(A)



(B)



(C)

Figura 2. (A) Carreadouro dentro da área da reserva; (B) madeireiro retirando madeira explorando dentro da reserva e (C) área de pastagem no município de Apuí.

## 2.2 Etapas da metodologia

Este estudo foi dividido de acordo com o fluxograma da Figura 3.

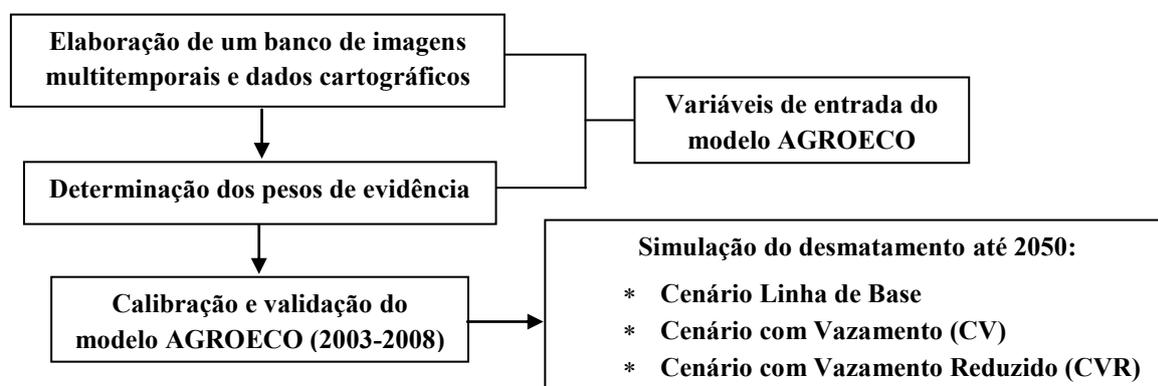


Figura 3. Etapas da metodologia.

Para a elaboração dos cenários propostos foi utilizado o modelo de simulação do desmatamento AGROECO (Fearnside et al., 2009) desenvolvido dentro do programa de modelagem ambiental Dinamica EGO (Rodrigues et al., 2007; Soares-Filho et al., 2009). Os dados de entrada do modelo foram constituídos de mapas de uso e cobertura da terra (2003 e 2008), mapa de variáveis estáticas, estradas e pesos de evidência. Os mapas utilizados para a simulação foram produzidos com resolução espacial de 250 metros e a projeção cartográfica utilizada foi a UTM correspondendo a Zona 20 Sul e Datum WGS 1984.

### 2.2.1 Imagens multitemporais e dados cartográficos utilizados na modelagem

Os mapas de uso e cobertura da terra foram elaborados com base no mapa do estado do Amazonas (2008) disponível no banco de dados do PRODES (Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite). Este sistema identifica as classes de desmatamento por corte raso, floresta, não-floresta, hidrografia e nuvem. Áreas em processo de regeneração da vegetação não são identificadas pelo PRODES, portanto, para incluir a classe vegetação secundária no mapa de uso da terra foi feito o mapeamento da vegetação secundária, a partir das imagens multitemporais Landsat TM que compõem a área de estudo. Desta forma, a classe vegetação secundária foi posteriormente incorporada ao mapa temático de uso e cobertura da terra por meio de um modelo construído no Dinamica EGO, o qual permitiu unir as variáveis de interesse através do uso de expressões algébricas.

Os mapas de variáveis estáticas foram constituídos pelo mapa de distância aos rios (derivado do mapa do PRODES), solo (IBGE), vegetação (IBGE), altitude (SRTM), declividade (SRTM), áreas protegidas (obtidos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SDS; Greenpeace e do Instituto Socioambiental - ISA).

Os mapas de estradas foram adquiridos pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG. As estradas principais e secundárias foram atualizadas a partir da análise de imagens orbitais TM/Landsat de 2003 (para o mapeamento de estradas de 2003) e de 2008 (para o mapeamento das estradas de 2008).

### 2.2.2 Determinação dos coeficientes de pesos de evidência

Pesos de evidência é um método estatístico utilizado no Dinamica EGO para determinar a probabilidade de uma célula mudar de um estado para outro dado uma evidência. As

transições são baseadas nas classes do mapa de uso e cobertura da terra. No presente estudo as transições consideradas foram:

- Floresta → Desmatamento (desmatamento);
- Desmatamento → Vegetação secundária (regeneração);
- Vegetação secundária → Desmatamento (corte da vegetação secundária).

Deste modo, os coeficientes dos pesos de evidência foram determinados a partir do mapa de variáveis estáticas, mapa de uso da terra (2003 e 2008) e dos intervalos de distância dos pesos de evidência. Os mapas de atratividade e fricção têm o propósito de auxiliar o desempenho do módulo construtor de estradas do AGROECO. As estradas são alocadas automaticamente de acordo com o nível de atratividade e o custo de se construir uma estrada. Portanto, a aptidão e o custo de se construir uma estrada varia de acordo com a categoria da área protegida. Os valores utilizados neste trabalho foram baseados no estudo de Fearnside et al. (2009).

### 2.2.3 Taxas de transição

As taxas de transição foram calculadas por meio de um acoplamento com um modelo externo desenvolvido no programa Vensim. Assim, a cada iteração o Dinamica EGO repassa um mapa atualizado ao Vensim, e este por sua vez calcula as taxas de desmatamento utilizando uma equação desenvolvida com base na área de superfície de floresta fundiária (faixa de 2 km das estradas) e de floresta (exclui a área de floresta fundiária) do mapa simulado de uma determinada iteração. As taxas de regeneração e corte da vegetação secundária utilizadas foram constantes devido à falta de parâmetros e dados para a elaboração de uma equação específica para ser utilizada no cálculo dessas taxas. Posteriormente, as taxas de transição são transferidas para o *container* que se encarrega de alocar as taxas calculadas.

### 2.2.4 Calibração e Validação do modelo

A calibração tem como intuito ajustar os parâmetros do modelo (Rykiel, 1996). A validação tem como propósito analisar o ajuste espacial entre o mapa de referência (real) e simulado e assim, avaliar a acurácia dos resultados gerados na etapa da calibração (Paegelow e Camacho Olmedo, 2008).

A calibração foi feita num intervalo de cinco anos (2003 a 2008). Assim, as variáveis de entrada inseridas no modelo foram: mapa de uso e cobertura da terra (2003), pesos de evidência, mapa de estradas (2003), mapas de atratividade e fricção. Após a inserção das variáveis no modelo, este foi rodado produzido assim, o mapa simulado de 2008. Para a validação, foi utilizado um modelo no Dinamica EGO desenvolvido por Soares-Filho et al. (2009), o qual emprega uma função de decaimento constante dentro de um tamanho variável de janelas. O resultado da validação demonstrou que comparando o mapa real e simulado, com base no mapa real, o ajuste variou entre 23,1% (janela 1x1) a 73,8% (janela 11x11). O percentual de ajuste da similaridade aumenta conforme o aumento do tamanho da janela. Valores acima de 50% de ajuste são aceitáveis desde que, a distribuição espacial do desmatamento nos mapas comparados seja similar.

Neste estudo três cenários foram simulados até 2050:

- **Cenário linha de base (*baseline*):** A RDS do Juma não foi considerada e o desmatamento segue a tendência histórica ;
- **Cenário com vazamento (CV):** A criação da RDS do Juma foi considerada e o efeito do vazamento decorrente da sua criação foi simulado;

- **Cenário com vazamento reduzido (CVR):** A RDS do Juma foi considerada e o efeito do vazamento foi reduzido com base na taxa média de vazamento estimada a partir do CV.

### 3. Resultados e Discussão

A simulação demonstrou que na área total de estudo haveria uma redução de 16,0% (14.695,1 km<sup>2</sup>) na cobertura florestal até 2050 no cenário linha de base. Já nos cenários em que a RDS do Juma foi considerada, essa redução seria de 15,9% (14.647,3 km<sup>2</sup>) no CV e de 15,4% (14.218,5 km<sup>2</sup>) no CVR. Não houve uma diferença relevante na perda de cobertura florestal entre os cenários, entretanto, se for considerado somente a área da RDS do Juma, pode se verificar que houve uma redução de 18,9% (1.052,4 km<sup>2</sup>) na cobertura florestal no cenário linha de base. Já nos cenários com a presença da reserva do Juma, essa redução seria de 7,1% (394,9 km<sup>2</sup> no CV e de 394,4 km<sup>2</sup> no CVR). Comparando-se os cenários, verifica-se que, sem a criação da RDS do Juma, houve uma redução de 62,5% (cerca de 658,0 km<sup>2</sup>) na cobertura florestal em relação aos cenários em que a reserva foi considerada (Tabela 1; Figura 4).

O incremento anual médio do desmatamento na área total de estudo foi de 4,5% (324,4 km<sup>2</sup>), 4,5% (323,5 km<sup>2</sup>) e de 4,4% (314,1 km<sup>2</sup>) no cenário linha de base, CV e CVR, respectivamente. A área média de floresta cortada anualmente foi de 350,9 km<sup>2</sup> (0,41%) no cenário linha de base, 349,8 km<sup>2</sup> (0,41%) no CV e de 339,5 km<sup>2</sup> (0,40%) no CVR. Nos três cenários, a taxa anual de regeneração foi de 1,30%. Desta forma, a área regenerada a cada ano oscila conforme a área desmatada, portanto, a área média anual regenerada foi de 106,9 km<sup>2</sup> (linha de base), 105,5 km<sup>2</sup> (CV) e de 102,8 km<sup>2</sup> (CVR). A área regenerada no CVR foi menor em relação aos outros cenários devido à área desmatada deste cenário ser inferior, uma vez que, a taxa é aplicada de acordo com a área da classe desmatamento.

Quanto ao corte da vegetação secundária, a taxa anual utilizada foi de 12,50%. Assim, a área média anual da vegetação secundária cortada foi de 80,5 km<sup>2</sup> (linha de base), 79,3 km<sup>2</sup> (CV) e de 77,4 km<sup>2</sup> (CVR).

Em relação à área da RDS do Juma, o incremento anual médio do desmatamento foi de 6,7% (21,9 km<sup>2</sup>) no cenário linha de base e de 4,6% (8,5 km<sup>2</sup> no CV e 8,6 km<sup>2</sup> no CVR) nos cenários com a presença da reserva do Juma. Anualmente, cerca de 0,5% (25,1 km<sup>2</sup>) da cobertura florestal foi perdida no cenário linha de base. No CV e CVR esse valor reduziu para 0,2% (9,5 km<sup>2</sup>). A área regenerada anualmente foi em média 9,6 km<sup>2</sup> (2,9%) no cenário linha de base e cerca de 2,2 km<sup>2</sup> (1,2%) no CV e CVR. A área de vegetação secundária cortada por ano no cenário linha de base, CV e CVR foi cerca de 6,4 km<sup>2</sup> (13,7%), 1,3 km<sup>2</sup> (6,8%) e de 1,2 km<sup>2</sup> (6,3%), respectivamente.

**Tabela 1.** Área (km<sup>2</sup>) de floresta total, desmatamento acumulado e vegetação secundária nos três cenários propostos para a área total de estudo e para a RDS do Juma.

	Classes	Prodes (km <sup>2</sup> )	Cenário linha de	CV (km <sup>2</sup> )	CVR (km <sup>2</sup> )
		2008	base (km <sup>2</sup> ) 2050	2050	2050
Área total	Floresta	92.092,8	77.397,8	77.445,6	77.874,3
	Desmatamento acumulado <sup>1</sup>	2.556,3	16.181,2	16.143,2	15.748,5
	Vegetação secundária	258,1	1.328,2	1.318,4	1.284,3
RDS do Juma	Floresta	5.573,9	4.521,5	5.179,0	5.179,5
	Desmatamento acumulado <sup>1</sup>	64,8	984,7	422,1	424,5
	Vegetação secundária	2,3	134,8	39,9	37,0

<sup>1</sup>No mapa de 2008, o desmatamento acumulado não inclui a vegetação secundária mapeada. Nos mapas simulados, a classe desmatamento inclui o corte da floresta e o corte da vegetação secundária.



autores verificaram que o avanço das estradas ilegais no centro-oeste do Pará é duas ou três vezes menor dentro das áreas protegidas em relação às áreas sem nenhum tipo de proteção.

Assim, a maior parte do desmatamento seria alocada em áreas com significativa pressão antrópica, tais como o município de Apuí e áreas próximas a BR-230 (Graça et al., 2007). Essas áreas são consideradas mais atrativas ao desmatamento.

A modelagem também demonstrou um aumento na área de vegetação secundária decorrente do aumento da área desmatada. Este resultado está de acordo com observações feitas por Almeida (2009). Este autor estimou a área de vegetação secundária na Amazônia Legal a partir de imagens de satélite Landsat e verificou que, quanto maior a extensão de área desmatada, a área ocupada pela vegetação secundária também tende a ser maior.

#### 4. Conclusões

Por meio de ferramentas de modelagem ambiental é possível construir cenários e avaliar como decisões de políticas públicas em relação à criação de áreas protegidas podem influenciar a paisagem na região em que estas reservas foram propostas.

O presente estudo demonstrou que os benefícios climáticos obtidos pela criação de uma reserva como, por exemplo, a redução das emissões dos gases do efeito estufa provenientes do desmatamento, poderiam ser comprometidas pelo efeito do vazamento. No caso da RDS do Juma, esse efeito comprometeria os benefícios de carbono oriundos do projeto REDD. Neste sentido, a simulação dos cenários linha de base, CV e CVR foram úteis para avaliar o efeito da criação da RDS do Juma em frear o desmatamento na região sul do Amazonas.

O modelo AGROECO utilizado para a simulação do desmatamento é uma ferramenta que auxilia na compreensão das mudanças de uso e cobertura da terra, entretanto, é importante ressaltar que, essas projeções são representações simplificadas de um sistema complexo e, portanto, devem ser consideradas apenas como prováveis possibilidades. Apesar das limitações do modelo empregado, os cenários produzidos podem ser úteis para subsidiar políticas públicas no sul do Amazonas e avaliar os benefícios associados aos projetos de mitigação de mudanças climáticas na RDS do Juma.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de mestrado da primeira autora e a Fundação Amazonas Sustentável (FAS) pelo apoio financeiro no trabalho de campo.

#### Referências

- Alencar, A.; Nepstad, D.; McGrath, D.; Moutinho, P.; Pacheco, P.; Diaz, M.D.C.V; Soares-Filho, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da “Emergência Crônica”**. Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia. Belém. 85pp. 2004.
- Brandão Jr. A. O.; Souza Jr. C. M.; Ribeiro, J. G. F.; Sales, M. H. R. Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 2357-2364. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.47>>. Acesso em: 01 ago.2010.
- Carrero, C. G. Dinâmica do desmatamento e consolidação de propriedades rurais na fronteira de expansão agropecuária no Sudeste do Amazonas. 2009. 79p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 2009.
- Fearnside, P.M. 2008. O valor de áreas protegidas em evitar mudança climática na Amazônia. In: R. Wiegand, Jr. & A.L. Albernaz (Eds.) **Atualização das Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e**

**Repartição dos Benefícios da Biodiversidade – Bioma Amazônia**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. pp. 8-11.

Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Keizer, E.W.H.; Maldonado, F.D.; Barbosa, R.I.; Nogueira, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.24, n. 2, p. 208-233, 2009

Graça, P.M.L.A.; Maldonado, F.D.; Fearnside, P.M. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 917-924. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.22.21>>. Acesso em: 05 ago.2010.

IDESAM. Projeto de redução de emissões de gases de efeito estufa provenientes do desmatamento na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma, Amazonas, Brasil. Documento de concepção do projeto. versão 5.1. 197p. 2009

Mazzoti, F.J.; Vinci, J.J. **Validation, verification, and calibration: Using standardized terminology when describing ecological models**. University of Florida. IFAS Extension. 2007. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/uw256>>. Acesso em: 20.mai. 2010.

Paegelow, M.; Camacho Olmedo, M.T. Advances in geomatic simulations for environmental dynamics. In: Paegelow, M.; Camacho Olmedo, M.T (Eds). **Modelling Environmental Dynamics-Advances in Geomatic Solutions**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.2008.p. 3-54.

Rykiel, E.J., Jr. Testing ecological models: the meaning of validation. **Ecological Modeling**,v.90,p. 229-244, 1996.

Rodrigues, H.O.; Soares-Filho, B.S; Costa, W.L.S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 3089- 3096. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59>>. Acesso em: 05 ago.2010.

SDS. Plano de gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma. Série técnica planos de estágio. Volumes I e II. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas. Novo Aripuanã. Amazonas. 281p. 2010

Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Costa, W.L. **Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinamica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Minas Gerais. 116p. 2009. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso em: 02. abr.2010.

Souza Jr. C.; Brandão Jr. A.; Anderson, A.; Veríssimo, A. **O avanço das estradas endógenas na Amazônia. O estado da Amazônia**. IMAZON. 2005. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/especiais/especiais.asp?id=331>>. Acesso em: 27.mai. 2010

Viana, V.; Cenamo, M.; Ribenboim, G.; Tezza, J.; Pavan, M. **Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma: O primeiro projeto de REDD na Amazônia brasileira**. Manaus: Fundação Amazonas Sustentável.. 2008. 85p.