

Caracterização do padrão temporal de regeneração florestal da Amazônia Oriental em áreas desmatadas no ano de 2001.

André Lima¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Antônio Roberto Formaggio¹
Thiago Silva¹
Marcos Adami¹
Ramon Morais de Freitas¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
(andre, yosio, formag, thiago, adami, ramon)@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this work was to identify and monitor forest regeneration for a period of eight years after deforestation events occurred in 2001, in the Eastern Amazon region. The study utilizes Landsat Thematic Mapper (TM) images, acquired for scene 224/65 (path/row), for the following dates: 07/06/2000 (Geocover product), 08/02/2001, 08/29/2002, 07/04/2005 (Geocover product) and 08/08/2009. Deforestation data was obtained from the PRODES deforestation mapping program, for the year 2001. The results showed a large and increasing area of forest regeneration, for the area and period of study. The first year after deforestation showed the highest proportion of regeneration (20%), which can be attributed to the known pattern of less intensive land use in the initial years after vegetation removal, associated with stem regrowth and germination from the remaining seed banks. The proportion of regenerated area decreases over the years (through new deforestation of regenerating areas), but still occupies 13% of the deforested area in 2001 by the end of the eight year period (2001-2009). Another important result observed was that from the total area regenerated by 2009, 60% started the recovery process immediately after the 2001 deforestation event, and had no evidence of economic use during the studied period (i.e. no justification for the observed deforestation in the first place). These results emphasize the importance of better understanding and quantifying the role of biophysical and socio-economic factors in the dynamics of forest regeneration in the Amazon, and could help improve carbon emission and biodiversity studies in the region.

Palavras-chave: forest regeneration, remote sensing, land cover change, regeneração florestal, sensoriamento remoto, mudança de cobertura da terra.

1. Introdução

A Floresta Amazônica brasileira é a maior floresta tropical do globo, representando cerca de 40% do total das florestas tropicais no mundo (Laurance *et al.*, 2001). Destaca-se sua importância na representação e manutenção da biodiversidade, bem como os serviços ecológicos oferecidos por ela em escala global. No entanto, a Floresta Amazônica tem sido ameaçada por diversas ações de origem antrópica, como: desmatamento, fragmentação de hábitat, corte seletivo e queimadas (Malhi *et al.*, 2008)

Tais distúrbios de origem antrópica constituem um mesmo processo, o da dinâmica de uso e cobertura da região Amazônica (Holdsworth e Uhl, 1997; Sorrensen, 2000; Sorrensen, 2004; Fearnside, 2005; Bowman *et al.*, 2008; Morton *et al.*, 2008; Sorrensen, C. L., 2008). De modo geral, a ocupação inicial ocorre com o corte seletivo de espécies de valor econômico, que com o impacto da extração desses indivíduos aumenta a inflamabilidade da floresta (Nepstad *et al.*, 2004). Atingindo-se tal condição, o fogo é atado à vegetação remanescente eliminando quase que completamente a biomassa, para que então a terra seja ocupada por uso agropastoril (Sorrensen, 2000; Sorrensen, 2004; Sorrensen, C., 2008).

No entanto, não raramente, tem-se a queda da produtividade dessas terras e o conseqüente abandono das mesmas. Tais áreas abandonadas iniciam um processo de regeneração da vegetação nativa, mitigando parte dos impactos causados pelos distúrbios antrópicos (Lisboa, 1989; Brown e Lugo, 1990; Lucas *et al.*, 2000). As áreas regeneradas prestam serviços ambientais relevantes, como o seqüestro de carbono (Nobre e Nobre, 2002), a criação de corredores de biodiversidade (Barlow *et al.*, 2006; Stouffer *et al.*, 2006), a ciclagem e fixação de nutrientes ao solo (Szott *et al.*, 1999) e a manutenção do ciclo hidrológico (Ferreira *et al.*, 2005), entre outros. Assim, fica evidente que ainda que com conseqüências opostas aos das atividades antrópicas já citadas, a regeneração florestal também integra o processo de mudança de uso e cobertura da região Amazônica.

No entanto, o estudo da regeneração florestal em escala regional tem sido pouco explorado dentro do processo de mudança de uso e cobertura da região Amazônica. E devido sua importância neste processo é tida como uma das principais fontes incertezas no balanço nacional de emissões de Gases de Efeito Estufa (Aragao e Shimabukuro, 2010).

Diante da lacuna de estudos que abordem o tema regeneração florestal em escala regional propõe-se um trabalho que identifique e monitore áreas de regeneração florestal em desmatamentos ocorridos em 2001 na porção ocidental da região Amazônica por meio de imagens *Thematic Mapper* (TM) 224/65 (órbita/ponto) dos anos 2001; 2002; 2005, e; 2009.

2. Área de estudo

A área de estudo encontra-se no sudeste do Pará, compreendendo as seguintes cidades: Ourilândia do Norte, Água Azul do Norte, Cumaru do Norte e Pau D'Arco. Os limites geográficos da área de estudo é dado pela órbita/ponto 224/65 do sensor TM (Figura 01).

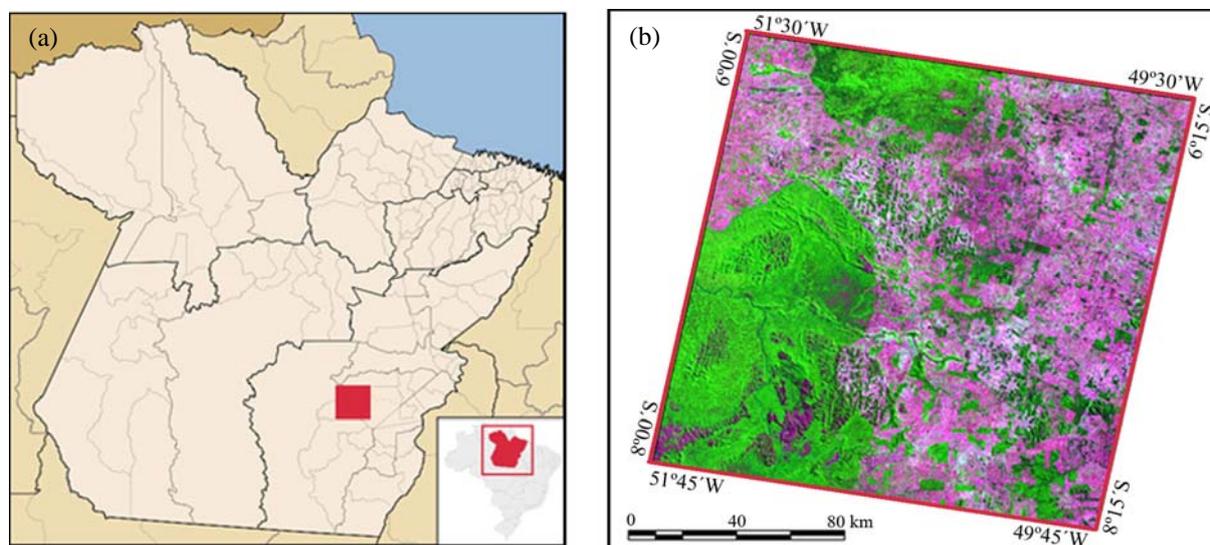


Figura 01. Localização da área de estudo. No detalhe (b), cena TM/Landsat de 08/08/2009, órbita/ponto 224/65; bandas 5(R), 4(G), 3(B).

De modo geral, o clima da região caracteriza-se pela temperatura e umidade elevadas, com pequenas variações térmicas espacial e temporal, e considerável flutuação pluviométrica temporal. O tipo climático segundo a classificação de Köppen é categorizado no grupo A, como tropical chuvoso, subtipo Aw, com índices pluviométricos anuais relativamente altos e observância de uma nítida estação seca, sendo a precipitação média no mês mais seco inferior a 60 mm (Radam/Brasil, 1976).

Conforme Veloso *et al.* (1991) a vegetação natural preponderante na região é a do tipo Floresta Ombrófila Densa Submontana. Essa formação ocupa o dissecamento do relevo montanhoso e dos planaltos com solos medianamente profundos, coberta por árvores com altura aproximadamente uniformes (30 metros), apenas as castanheiras (*Bertholletia excelsa*) *destoam* no dossel, atingindo até 50 m de altura.

Em virtude das modificações ocorridas nas áreas de floresta madura, principalmente nas últimas três décadas, pelas atividades antrópicas, há significativas porções de vegetação regenerada. Essas formações denominadas de capoeiras latifoliadas (Veloso *et al.*, 1991) são encontradas em vários estágios de sucessão, com estrutura vertical e densidade variáveis.

Os impactos mais intensos a floresta da região iniciam a partir da década de 1980, quando o extrativismo da castanha-do-pará perde importância econômica devido à política desenvolvimentista nacional de incentivo ao estabelecimento da agropecuária na região. Atraídos pelo incentivo governamental e pela melhoria da infra-estrutura um crescente fluxo migratório passou a ocupar a região.

3. Materiais

O trabalho se pautou em dados de desmatamentos mapeados pelo PRODES no ano 2001 na órbita/ponto 224/65 e nas seguintes imagens TM:

- 06/07/2000 (Produto Geocover);
- 02/08/2001;
- 29/08/2002;
- 04/07/2005 (Produto Geocover);
- 08/08/2009.

4. Metodologia

Para permitir a identificação e monitoramento da regeneração florestal no interior dos polígonos de desmatamentos mapeados pelo PRODES em 2001 foi necessário georreferenciar as imagens TMs selecionadas para que se pudesse efetuar a sobreposição dos dados. As imagens de 02/08/2001 e 29/08/2002 foram georreferenciadas com base na imagem TM ortorretificada de 06/07/2000 do produto Geocover, já a imagem TM de 08/08/2009 foi georreferenciada com base na TM ortorretificada de 04/07/2005.

O monitoramento da regeneração florestal não foi feito sobre todos os desmatamentos mapeados pelo PRODES em 2001 na de estudo, mas, sim, em áreas aleatoriamente selecionadas. O critério de amostragem seguiu as seguintes etapas e regras: (1) os polígonos de desmatamento foram categorizados em classes de área de até 50 ha, 50-100, 100-200, 200-500, 500-1.000, 1.000-2.500 e maior que 2.500 ha; (2) seleção de 10% dos polígonos presentes em cada classe de área; (3) porém, caso os 10% selecionados não equivalessem a “n” ≥ 30 , seriam sorteados 30 polígonos do total categorizado na classe; por fim, caso o total de polígonos da classe seja ≤ 30 , todos os elementos seriam considerados, não havendo qualquer tipo de sorteio. Utilizando tais critérios foram selecionados 128 polígonos de desmatamento para execução do trabalho (Figura 02).

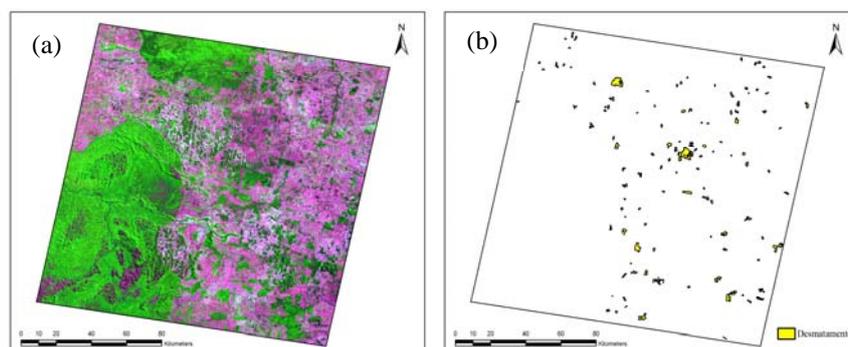


Figura 02. Distribuição espacial das amostras de polígonos de desmatamentos utilizados no trabalho. (a) Imagem TM/Landsat de 08/08/2009 apresentada com intuito de mostrar as grandes manchas de floresta na paisagem (tons de verde) e que explicam os vazios de amostragem na Figura 2(b).

Tendo sido selecionados os polígonos de desmatamento em 2001 a serem monitorados nos anos 2002, 2005 e 2009, foram estabelecidas as classes de mapeamento: Desmatamento 2001 (área identificada como desmatamento em 2001), Regeneração 2002 (regeneração florestal em estágio inicial detectada no ano de 2002), Desmatamento 2005 (área identificada como Regeneração em 2002, mas que em 2005 não se caracterizava como vegetação natural), Regeneração 2005 (área que anteriormente não foi classificada como Regeneração 2002, mas que se identificou regeneração florestal em 2005), Desmatamento 2009 (área identificada como Regeneração 2002 ou Regeneração 2005, mas que em 2009 não se caracterizava como vegetação natural), Regeneração 2009 (área que nos anos analisados anteriormente não havia sido identificada como regeneração florestal, mas que se identificou tal classe em 2009).

No entanto, ao se iniciar o monitoramento dos polígonos de desmatamento em 2002 foi notada a presença de vegetação florestal em estágio maduro, sugerindo a presença de erros de inclusão no mapeamento efetuado pelo PRODES. Esses erros foram constatados examinando a imagem TM de 02/08/2001. Com isto, a legenda de mapeamento foi adaptada com a inclusão da classe Floresta 2001 (área identificada como desmatamento pelo PRODES, mas que de fato se tratava de floresta no ano de 2001) e as classes Desmatamento 2005 Desmatamento 2009 e Regeneração 2009 passaram a incluir as transições de cobertura passíveis de ocorrerem em Floresta 2001 (*i.e.* floresta – desmatamento – regeneração).

Estabelecida a legenda de mapeamento, iniciou-se através de interpretação visual a classificação das áreas erroneamente identificadas como desmatamento em 2001. A imagem de fundo utilizada foi a TM de 02/08/2001, bandas 5(R), 4(G), 3(B), com contraste linear de 2% de saturação. A escala de mapeamento foi fixada em 1:25.000 e as novas feições digitalizadas foram incorporadas no mapeamento contendo os polígonos PRODES amostrados. Tanto a configuração de composição colorida quanto a escala de visualização foram mantidas para os demais anos (2002, 2005 e 2009), sendo atualizado para cada ano apenas as mudanças de cobertura.

Os resultados obtidos foram estimativas da dinâmica de regeneração florestal no decorrer dos anos 2001-2002, 2002-2005 e 2005-2009.

5. Resultados e Discussão

A alta proporção de área regenerada entre 2001 e 2002 (total de 20% da área desmatada em 2001) vai de encontro às considerações de Sorrensen (2008) sobre o início do processo de mudança de uso e cobertura da terra na região Amazônica. Conforme a autora, de forma geral, durante cerca de dois a três anos pós-desmatamento o proprietário da terra emprega uso menos intensivo ao solo,

visto que a conversão direta para uma agricultura mecanizada ou uma pecuária de alta produtividade exige grande aplicação de capital financeiro. O uso menos intensivo do solo nos primeiros anos pós-desmatamento e o melhor estado do banco de sementes (Uhl e Clark, 1983) podem explicar a maior proporção de área regenerada em 2002 com relação aos anos subseqüentes (Tabela 01).

Tabela 01. Dinâmica da cobertura mapeada no interior de áreas desmatadas em 2001.

Classe/ano	2001	2002	2005	2009
Floresta 2001	25 ha 11%	20 ha 9%	18 ha 8%	15 ha 6%
Desmatamento 2001	206 ha 89%	160 ha 70%	147 ha 64%	143 ha 62%
Desmatamento 2002	-	4 ha 2%	3 ha 1%	3 ha 1%
Desmatamento 2005	-	-	21 ha 9%	19 ha 8%
Desmatamento 2009	-	-	-	21 ha 9%
Regeneração 2002	-	45 ha 20%	27 ha 12%	18 ha 8%
Regeneração 2005	-	-	14 ha 6%	5 ha 2%
Regeneração 2009	-	-	-	7 ha 3%
Total	231 ha 100%	231 ha 100%	231 ha 100%	231 ha 100%

A área ocupada por regeneração florestal estimada na última data da série temporal (2009) foi próxima da área calculada por Almeida (2009) para toda a região Amazônica, respectivamente, 13 e 10%. Outro ponto a se ressaltar sobre dinâmica da regeneração no decorrer do tempo analisado foi a permanência da maior parte da área identificada como regeneração em 2009 (60%) iniciou seu processo de recuperação logo após o desmate (Tabela 01, Figura 03). Este fato agrega maior valor aos serviços ecológicos prestados por essas áreas, no entanto, também releva que as mesmas nunca tiveram qualquer uso do solo.

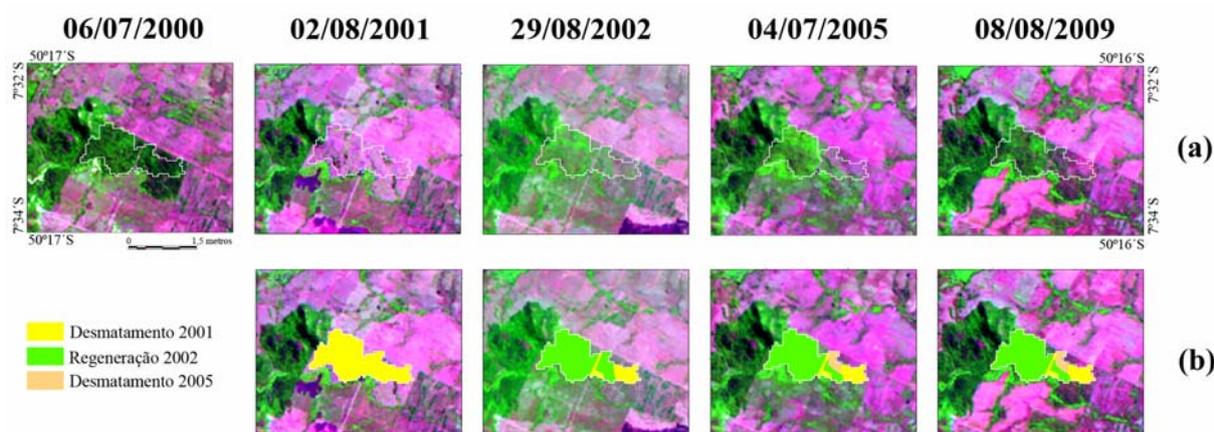


Figura 03. Exemplo de área desmatada em 2001 com início de regeneração já no ano subseqüente. A linha de figuras (a) mostra a dinâmica de regeneração no interior do polígono de borda branca por

meio das imagens TM - composição colorida 5(R), 4(G), 3(B). A linha (b) apresenta a dinâmica de cobertura mapeada.

A constatação da presença de erros de inclusão no mapeamento de desmatamentos ocorridos em 2001 (mapa PRODES) é um resultado importante para trabalhos de estimativas de área florestal regenerada, dado que estes falsos desmatamentos podem ser identificados como regenerações ao se utilizar os dados fornecidos pelo PRODES. Caso as áreas de falsos desmatamentos não fossem classificadas como florestas nesse trabalho, a estimativa de presença de área regenerada em 2009 se elevaria em mais 30%.

6. Considerações Finais

Os resultados do trabalho mostraram a área significativa ocupada por manchas de regeneração florestal na Amazônia oriental, evidenciando, assim, o papel relevante deste componente para o entendimento do processo de dinâmica de uso e cobertura da terra na região. O primeiro ano pós-desmate foi o que apresentou maior proporção de regeneração (20%), fato explicado pela literatura como devido ao uso menos intensivo da terra nos primeiros anos e pela presença de troncos remanescentes e o melhor estado de conservação. No decorrer dos anos esta proporção diminuiu, mas passado oito anos (2001 a 2009) a área de regeneração ainda ocupa 13% da área desmatada em 2001. Outro resultado importante é que 60% da área regenerada iniciaram o processo de recuperação logo após o desmate, nunca havendo qualquer uso econômico de maior valor agregado.

Por fim, fica evidente que qualquer estimativa da contribuição do Brasil no balanço global de Gases de Efeito Estufa deve contar com a quantificação e monitoramento da área coberta por regeneração florestal na Amazônia.

Referências

- ALMEIDA, C. A. **Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia Legal por meio de imagens Landsat/TM**. 2009. 130 (Mestrado). Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- ARAGAO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The Incidence of Fire in Amazonian Forests with Implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275-1278, June 4, 2010. Disponível em: < <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/328/5983/1275> >
- BARLOW, J.; PERES, C. A.; HENRIQUES, L. M. P.; STOUFFER, P. C.; WUNDERLE, J. M. The responses of understory birds to forest fragmentation, logging and wildfires: An Amazonian synthesis. **Biological Conservation**, v. 128, n. 2, p. 182-192, 2006. ISSN 0006-3207. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000236015200004 >
- BOWMAN, M. S.; AMACHER, G. S.; MERRY, F. D. Fire use and prevention by traditional households in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 67, n. 1, p. 117-130, Aug 2008. ISSN 0921-8009.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, p. 1-32, 1990. ISSN 0266-4674. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1990CP12900001 >
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005. ISSN 0888-8892. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000229448100016 >
- FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.
- HOLDSWORTH, A. R.; UHL, C. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 713-725, 1997. ISSN 1051-0761. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1997WW23300030 >
- LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMONICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. Environment - The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438-439, Jan 2001. ISSN 0036-8075. Disponível em: < <Go to ISI>://000166487500023 >
- LISBOA, P. L. B. Estudo Florístico da vegetação arbórea de uma floresta secundária em Rondônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 5, p. 145-162, 1989.
- LUCAS, R. M.; HONZAK, M.; CURRAN, P. J.; FOODY, G. M.; MILNE, R.; BROWN, T.; AMARAL, S. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian Legal Amazon using NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 15, p. 2855-2881, 2000. ISSN 0143-1161. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000089193700008 >
- MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W. H.; NOBRE, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008. ISSN 0036-8075. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000252246400030 >

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; VAN DER WERF, G. R. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 10, p. 2262-2275, Oct 2008. ISSN 1354-1013. Disponível em: <<Go to ISI>://000259360500004 >.

NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; DA SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 704-717, 2004. ISSN 1354-1013. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000221421600013 >.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. Estudos avançados, v. 16, n. 45, p. 81-90, 2002. ISSN 0103-4014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-401420020006&nrm=iso>.

RADAM/BRASIL. **Folha AS.21-Santarém. Geologia, Geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 1976. 510

SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change frameworks: Understanding landscape change in agricultural frontiers. *Human Ecology*, v. 32, n. 4, p. 395-420, 2004. ISSN 0300-7839. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000224201800001 >.

_____. Potential hazards of land policy: Conservation, rural development and fire use in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, 2008.

SORRENSEN, C. L. Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 128, n. 1-2, p. 11-25, 2000. ISSN 0378-1127. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000085430500003 >.

_____. Potential hazards of land policy: Conservation, rural development and fire use in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, 2008.

STOUFFER, P. C.; BIERREGAARD, R. O.; STRONG, C.; LOVEJOY, T. E. Long-term landscape change and bird abundance in Amazonian rainforest fragments. **Conservation Biology**, v. 20, n. 4, p. 1212-1223, 2006. ISSN 0888-8892. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000239545500032 >.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; BURESH, R. J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, v. 47, n. 1-3, p. 163-196, 1999. ISSN 0167-4366. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000084972800011 >.

UHL, C.; CLARK, K. Seed ecology of selected Amazon basin successional species. **Botanical Gazette**, v. 144, n. 3, p. 419-425, 1983. ISSN 0006-8071. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1983RV74800016 >.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos e Estudos Ambientais, 1991. 124