The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:
Favor citar como:

de Vasconcelos, S.S., P.M. Fearnside, P.M.LA. Graça & E.M. Nogueira. 2011. Mapeamento das áreas afetadas por incêndios florestais no sul do amazonas e estimativas das emissões potenciais de carbono. .pp. 8059-8066 In: J.C.N. Epiphanio & L.S. Galvão (eds.) *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil 2011*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil. 9268 pp, CD-ROM [http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011].

ISBN: 978-85-17-00057-7

Copyright Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil

Mapeamento das áreas afetadas por incêndios florestais no sul do Amazonas e estimativas das emissões potenciais de carbono

Sumaia Saldanha de Vasconcelos [1]
Philip Martin Fearnside [1]
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça [1]
Euler Melo Nogueira [1]

[1] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Av. André Araújo, 2936, Aleixo, 69060-001, Manaus – AM, Brasil
{sumaia.vasconcelos, pmfearn, pmlag, euler}@inpa.gov.br

Abstract. The main goal of this article was to map areas affected by forest fires that occurred in 2005 in the municipality of Boca do Acre, in the southern part of Brazil's state Amazonas. Fire scars observed on Landsat satellite images TM 5 from 2004 to 2006 were visually interpreted and digitized and potential carbon emissions were estimated from the burn of forest biomass. Remote sensing techniques applied to satellite imagery allow identification and quantification of forest fire scars in Amazonia. Over 44 thousand hectares of forests affected by fire were mapped, the majority concentrated along the southern edge of the municipality (2.1% of total forest cover). Errors of omission and inclusion in the mapping were 4% and 0%, respectively. Total estimated loss of above-ground live biomass resulting from forest fires in 2005 was 7.10×10^6 t. Consequently, 3.44×10^6 t of potential carbon emissions were committed from the initial burn of forest biomass and that killed by the fire, considering the oxidation of dead biomass by decomposition or through combustion in subsequent fire events. Our results indicate that forest fires can affect extensive tracts of forest and can emit significant amounts of carbon to the atmosphere in periods of extreme droughts. Fire plays a significant role as a threat to the biological balance of the forest. Fires cause loss of biomass and increase emissions of greenhouse gases. Fire impacts have critical implications for the future of forests in the Amazon.

Palavras-chave: Amazon fire, remote sensing, satellite image, carbon emission, fogo na Amazônia, sensoriamento remoto, imagem de satélite, emissão de carbono.

1. Introdução

Tradicionalmente, as florestas tropicais úmidas foram consideradas imunes ao fogo, principalmente devido à condição de alta umidade no seu interior o que reduz a flamabilidade do material combustível presente (Uhl, 1998). Incêndios florestais na Amazônia eram considerados raros e associados a eventos de "El Niño", cuja ocorrência tem variado ao longo dos últimos 7000 anos (Turcq et al., 1998). Embora nas florestas tropicais o fogo sem uma fonte antropogênica de ignição continue a ser raro, atualmente em anos mais secos esses ecossistemas já são considerados como sazonalmente inflamáveis (Malhi et al., 2008). Diversos estudos demonstram que nas últimas décadas os incêndios em florestas tropicais tornaram-se cada vez mais frequentes (Cochrane e Schulze, 1999; Nepstad et al., 1999; Barbosa e Fearnside, 1999; Barlow et al., 2002; Brown et al., 2006; Vasconcelos e Brown, 2007).

A queima de biomassa de florestas na Amazônia, associada ao preparo da terra para atividades agrícolas e pecuária, é responsável por emitir anualmente grandes quantidades de gases e partículas de aerossóis para a atmosfera (Fearnside, 2003). Nepstad et al. (2001) estimaram que 1 milhão de km^2 de florestas na Amazônia estavam sob risco de queima durante a seca decorrente do El Niño de 1997-1998. No período dessa seca foram queimadas acidentalmente mais de 11.300 km^2 de florestas primárias no Estado de Roraima (Barbosa e Fearnside, 1999). De acordo com Laurance e Fearnside (1999) este foi um dos maiores incêndios florestais já registrados na Amazônia. Estima-se que o total de C equivalente de CO_2 emitido pela combustão da biomassa vegetal foi de 17,9 a $18,3 \times 10^6$ t, dos quais 67% eram de florestas afetadas pelo fogo, ou $12,0 \times 10^6$ t a $12,3 \times 10^6$ t de C equivalente a CO_2 (Barbosa e Fearnside, 1999). Em 2005, o aquecimento anômalo nas águas da superfície do

Atlântico Norte Tropical resultou em uma seca severa na Amazônia (Marengo et al., 2008). Brown et al. (2006) e Pantoja e Brown (2009) usaram imagens de satélite para mapear cicatrizes recentes de incêndios florestais no leste do Acre durante essa seca e estimaram que entre 267.000 a 417.000 ha de florestas foram queimadas por incêndios ocorridos em 2005.

Os avanços recentes nas técnicas de sensoriamento remoto têm contribuído substancialmente na detecção de florestas recém queimadas (Alencar et al., 2006; Brown et al., 2006) e no monitoramento dos estoques de biomassa e carbono. Nesse sentido, entender a evolução de incêndios florestais por meio desta ferramenta em áreas extensas como a Amazônia tem sido considerado crítico, devido a frequência com que eventos climáticos extremos estão ocorrendo nessa região nas útimas décadas.

Assim, os objetivos deste estudo foram os seguintes: (i) mapear as áreas afetadas por incêndios florestais que ocorreram em 2005 no sul do Estado do Amazonas a partir de imagens do satélite Landsat TM 5, e (ii) estimar a perda de biomassa e as emissões potenciais de carbono decorrentes da mortalidade das árvores pelos incêndios.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende o município de Boca do Acre que possui 23.013 km², localizado no sul do Estado do Amazonas. Este município está inserido na região conhecida como “arco do desmatamento”, que tem sido caracterizada por intensas alterações na cobertura florestal ocorridas nas últimas décadas em decorrência da forte pressão antropogênica. As formações florestais predominantes na área estudada são: Floresta Ombrófila Aberta Submontana dominada por Bambu, Floresta Ombrófila Aberta Submontana, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Projeto RadamBrasil, 1973-1983).

Boca do Acre é o segundo município do Amazonas que mais foi desmatado até 2009, perdendo quase 2.000 km² de florestas, cerca de 8% do desmatamento de todo o estado (Prodes, 2010). De acordo com o programa de monitoramento de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Boca do Acre é um dos cinco municípios com maior ocorrência de focos de queimadas no Amazonas na última década. Em 2005, considerando todos os satélites, foi detectado mais de 3.200 focos de calor, aproximadamente seis vezes o número detectado em 2004, que correspondeu a 591 focos.

2.2 Mapeamento das Cicatrizes de Incêndios Florestais

Incêndios florestais podem ser detectados em imagens de satélites a partir das cicatrizes formadas na cobertura florestal resultante do efeito do fogo na vegetação. Em geral, as áreas florestais afetadas pelo fogo apresentam uma maior contribuição da resposta espectral do material vegetal sem atividade fotossintética (galhos e troncos secos) em decorrência da morte de algumas árvores, da perda de folhas do dossel, e da energia refletida pela exposição do solo e do carvão depositado. Geralmente, essas cicatrizes são mais fáceis de serem observadas em imagens adquiridas no ano seguinte ao incêndio.

Para representar os incêndios florestais que ocorreram durante a seca de 2005, foram mapeadas todas as cicatrizes de fogo nas diferentes tipologias florestais. As cicatrizes de fogo foram mapeadas por meio da interpretação visual, realizando-se digitalização das áreas afetadas pelo fogo na imagem exibida na tela do computador. Foram utilizadas para a análise visual quatro cenas obtidas pelo satélite Landsat TM 5, no período de setembro a novembro, para os anos de 2004, 2005 e 2006 (Tabela 1). As cenas de 2004 foram utilizadas com o objetivo de não incluir no mapeamento de 2005 áreas que eventualmente tenham sido afetadas por incêndios em anos anteriores.

Tabela 1. Referência Órbita/Ponto das imagens de satélite Landsat TM 5 dos anos de 2004, 2005 e 2006, utilizadas no mapeamento das cicatrizes causadas por incêndios nas florestas de Boca do Acre/AM.

Órbita/Ponto	**2004**	**2005**	**2006**
001/67	01/09	20/09	21/07
001/66	01/09	04/09	22/08
002/66	08/09	13/10	14/09
003/66	10/05	05/11	16/05

As imagens de 2006, por registrarem melhor as cicatrizes resultantes do fogo, possibilitam um melhor delineamento das áreas do que nas imagens de 2005. Assim, as imagens de 2006 foram utilizadas para proceder a vetorização dos polígonos das cicatrizes existentes causadas pelo fogo, analisando simultaneamente cada área nos três anos (Figura 1). Após a vetorização das áreas de florestas afetadas pelo fogo foi calculada a área de cada polígono gerado por tipologia florestal.

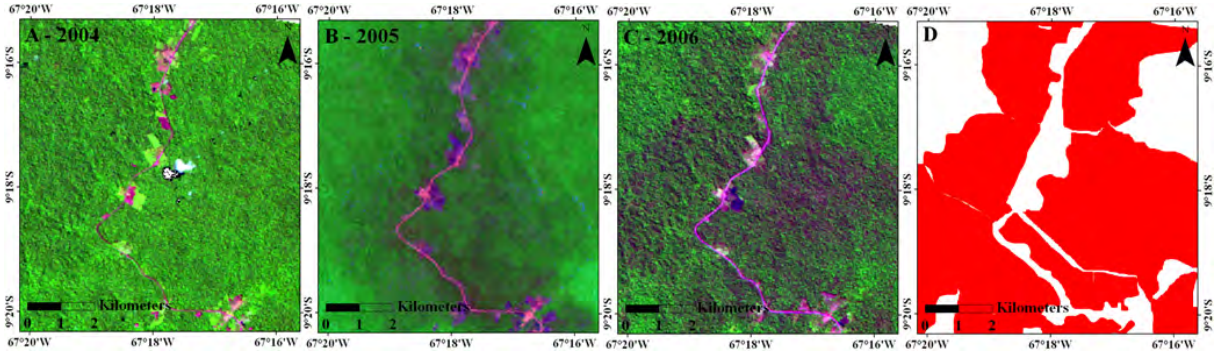

Figura 1. Recorte de uma área de floresta afetada pelo fogo em composição colorida R(5); G(4); B(3), apresentando diferentes datas utilizadas no processo do mapeamento: (A) área em 01/09/2004 sem fogo; (B) área em 20/09/2005 com cicatrizes recentes de fogo, (C) áreas em 21/07/2006 apresentado as cicatrizes de fogo ocorrido em 2005; e (D) mapeamento de florestas afetadas pelo fogo em 2005.

O mapeamento foi precedido de um extenso trabalho de campo em 2009 onde foram realizadas entrevistas com produtores rurais que observaram a ocorrência de incêndios florestais em suas propriedades. Durante essas entrevistas os produtores relatavam a dimensão da área queimada e se houve recorrência de fogo nas propriedades em 2005. Em todas essas áreas foram coletados pontos georreferenciados com GPS de navegação para servirem de registro de ocorrência de fogo. Ao longo da BR-317 também foram identificadas algumas áreas de florestas afetadas pelo fogo e coletados pontos georreferenciados de ocorrência de incêndios.

2.3 Avaliação do mapeamento

Para a avaliação do mapeamento foi delimitada uma subárea de 15 km × 26 km (390 km²) na cena 001/67, onde foram classificadas as áreas de florestas afetadas pelo fogo e de floresta intacta. Nessa subárea foram coletados 70 pontos de teste georreferenciados: 49 pontos em áreas de florestas afetadas pelo fogo e 21 pontos em áreas de floresta intacta distribuídos aleatoriamente. A avaliação do mapeamento foi realizada observando a concordância entre os pontos gerados no campo (referência terrestre) e as áreas classificadas como floresta afetada pelo fogo e floresta intacta, a partir de uma matriz de erro. Foram avaliadas a exatidão global e os erros de omissão e inclusão (Congalton e Green, 1999).

Todas as imagens foram obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (http://www.dgi.inpe.br/CDSR/). O pré-processamento das imagens - georreferenciamento, formação da composição colorida R(5), G(4), B(3), realce por ampliação do contraste, recorte e mosaicagem - foi realizado no software ENVI. A análise visual e a edição vetorial foram realizadas no software ArcGIS numa escala fixa de 1:20.000.

2.4 Perda de biomassa viva e emissões potenciais e carbono

A estimativa de biomassa queimada foi obtida em relação às estimativas de biomassa viva acima do solo reportada por Nogueira et al. (2008) para as diferentes fito-fisionomias existentes na Amazônia Legal Brasileira. A exceção foi a biomassa da floresta aberta dominada por bambu que foi obtida seguindo os números de Nelson et al. (2006) para os caules com DAP≥5 cm acrescidos dos demais componentes da biomassa viva e necromassa acima do solo; estes a partir de Nogueira et al. (2008). Essa estimativa permite incluir o efeito do bambu sobre a biomassa da vegetação e seguir um método similar ao que foi realizado para as demais fito-fisionomias reportadas na Tabela 2, conforme Nogueira et al. (2008).

Tabela 2. Estimativa de biomassa viva média acima do solo e carbono por tipo de floresta (peso seco em $t.ha^{-1}$).

Tipo de Floresta	**Biomassa ($t.ha^{-1}$)**	C (**$t.ha^{-1}$**)
Floresta Ombrófila Aberta Submontana dominada por Bambu	163,9	79,49
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	280,2	135,90
Floresta Ombrófila Densa Submontana	319,6	155,01
Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	318,9	154,67
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	299,3	145,16

O estoque de biomassa viva contido nas áreas de florestas afetadas pelo fogo foi obtido multiplicando a área atingida em cada tipo de floresta pela biomassa viva média correspondente ao que anteriormente existia na ausência do fogo. Para quantificar a estimativa da perda de biomassa viva nas áreas de florestas afetadas pelo fogo em 2005 foi aplicado o percentual médio da perda de biomassa associado com aumento na mortalidade de árvores ≥ 10 cm por hectare reportado na literatura para áreas de florestas afetadas pelo fogo (Tabela 3).

Tabela 3. Percentuais de árvores mortas e de perda de biomassa por hectare associados com a mortalidade de árvores em florestas afetadas pelo fogo.

Local	**Densidade de árvores mortas (%)**	**Perda de biomassa (%)**	**Fonte**
Tailândia/PA	49	63	Cochrane e Schulze (1999)
Tapajós/PA	48	51	Barlow et al. (2003)

Barlow et al. (2003) e Cochrane e Schulze (1999) relatam que a densidade de árvores mortas por hectare no primeiro ano após o fogo é elevada, e concentra-se nas classes diamétricas menores que possuem menos biomassa. Porém, três anos após o fogo, a densidade de árvores mortas nas classes diamétricas ≥50 cm aumenta, elevando substancialmente a perda de biomassa ainda decorrente de incêndios florestais anteriores. Os percentuais de perda de biomassa aérea morta por hectare são de 51% e 63%, superior a densidade de árvores mortas pelo fogo de sub-bosque (49% e 48%). Neste estudo assumiremos que o valor médio de perda de biomassa aérea associado a mortalidade pelo fogo será de 57%. De acordo com Silva (2007), em 1 tonelada de biomassa seca há 0,485 tonelada de C. Essa mesma relação foi adotada nesse estudo para estimar a quantidade de carbono existente por área de floresta, tanto para aquelas afetadas pelo fogo quanto para as áreas de floresta intacta. Desse modo, foi presumido que 48,5% da biomassa seca é carbono que potencialmente poderá ser liberado

para a atmosfera por meio da queima direta, requeima, decomposição bacteriana e da atividade de térmitas (Fearnside, 2003).

A estimativa da biomassa morta pelos incêndios florestais foi obida utilizando o modelo (Equação 1):

$$K = \alpha AB, \quad (1)$$

onde: **K** representa a estimativa de biomassa morta pelo fogo ($t.ha^{-1}$); **A** é a área queimada por tipo de floresta (ha); **B** é a densidade da biomassa por tipo de floresta ($t.ha^{-1}$); **α** é a perda percentual de biomassa decorrente das árvores mortas pelo fogo (valor médio = 57%)

3. Resultados e Discussão

3.1. Estimativa das áreas afetadas por incêndios florestais

As áreas de floresta afetadas pelo fogo mapeadas em Boca do Acre totalizaram 44.017 ha, que corresponde a 2,1% do total da cobertura florestal do município (Figura 2). Utilizando o mapeamento de cicatrizes de incêndios florestais na Amazônia brasileira (incluindo incêndios de Roraima) durante anos de seca decorrente do El Niño (1998) e ano sem El Niño (1995), Alencar et al. (2006) estimaram que a área de floresta queimada no ano com El Niño foi quase 20 vezes maior ($3,9 \times 10^6$ ha) que no ano sem El Niño (1995) ($0,2 \times 10^6$ ha).

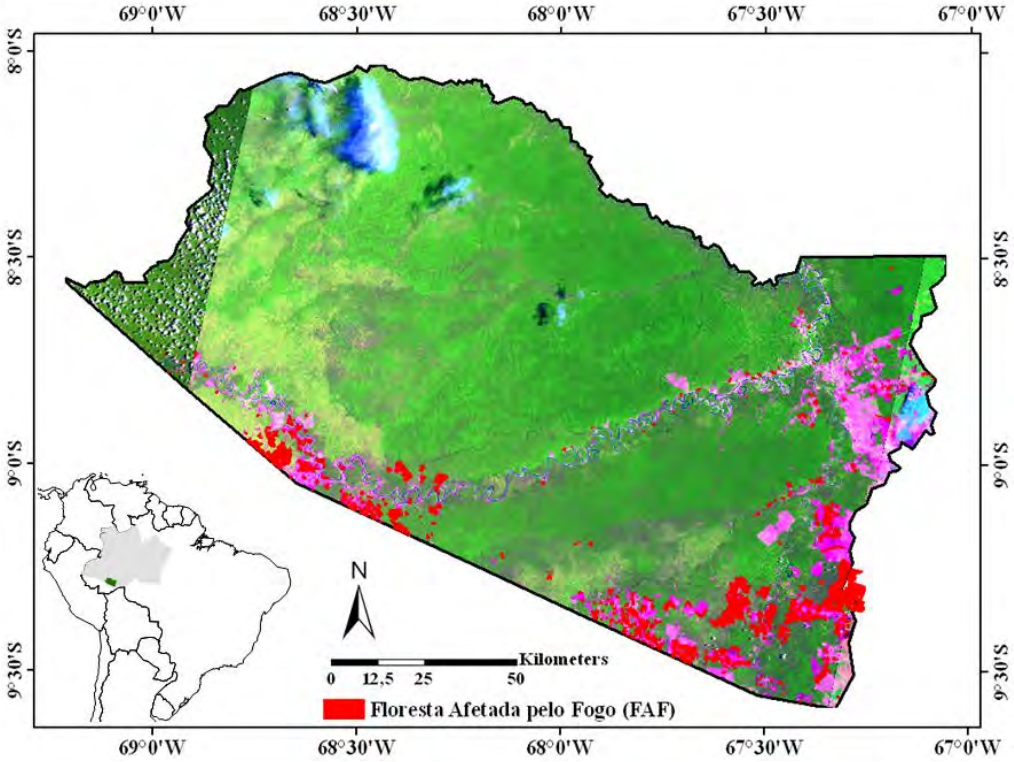

Figura 2. Áreas de florestas afetadas pelo fogo em 2005 no Município de Boca do Acre - AM, Brasil (polígonos em vermelho).

As florestas mais afetadas pelos incêndios foram: a Densa Aluvial (37,8%), a Aberta Submontana (31,6%) e a Densa Submontana (20%) (Tabela 4). A maioria das áreas de florestas afetadas pelo fogo concentrou-se no limite sul do município, região que está sujeita a maior pressão antrópica devido à expansão da pecuária dos estados vizinhos (Acre e Rondônia). Nota-se que a maioria das áreas de florestas afetadas pelo fogo está próxima de áreas de pastagens e estradas, indicando que, possivelmente, essas áreas foram as fontes de ignição para os incêndios. Fearnside (2003) menciona que estradas e assentamentos adjacentes às áreas de florestas supostamente protegidas são fontes de ignição que tem alta

probabilidade de sair do controle e entrar na floresta. Os incêndios florestais, assim como a exploração madeireira, são um dos principais responsáveis pela degradação florestal e consequente empobrecimento das mesmas (Nepstad et al., 2001). Além disso, tornam a floresta altamente vulnerável às secas e incêndios futuros (Asner et al., 2006).

3.2 Avaliação do mapeamento

A exatidão global do mapeamento das cicatrizes de áreas de floresta afetadas pelo fogo foi de 97%. Os erros de omissão e inclusão do mapeamento foram de 4% e 0%, respectivamente. Os erros de omissão ocorreram principalmente em áreas próximas ao limite da linha de fogo rasteiro na floresta de dossel fechado. De acordo com as entrevistas de campo, essas áreas foram as quais o fogo passou a uma altura menor que 50 cm do chão da floresta, o que provavelmente dificultou o contraste entre a vegetação queimada e aquela que não foi queimada. França (2004) relata que não há um comportamento espectral padrão das cicatrizes de fogo na região refletida do espectro eletromagnético e que suas características dependem principalmente do ecossistema, do tipo de solo, da estrutura e estágio fenológico da vegetação, e da intensidade do fogo.

Brown et al. (2006), utilizando análises feitas com fotografias aéreas para determinar a confiabilidade de estimativas oriundas de imagens de satélite na validação do mapeamento de áreas de floresta com copa afetada pelo fogo no leste do Estado do Acre em 2005, encontraram erros de omissão e inclusão de 28% e 2%, respectivamente. Já Pantoja e Brown (2009) não observaram erros de inclusão na edição de áreas de floresta com copa afetada pelo fogo em Rio Branco-AC.

3.3 Perda de biomassa viva e emissões potenciais de carbono

Os tipos de florestas que apresentaram as maiores perdas de biomassa viva foram: Floresta Ombrófila Densa Aluvial ($2,83 \times 10^6$ t ou 40,2% do total), Floresta Ombrófila Aberta Submontana ($2,22 \times 10^6$ t ou 31,5% do total) e Floresta Ombrófila Densa Submontana ($1,61 \times 10^6$ t ou 22,8% do total) (Tabela 4).

Tabela 4. Área (ha) das cicatrizes de fogo por tipo de floresta e estimativas totais e de perda de biomassa viva e carbono (10^6 t - 57%).

TIPO DE FLORESTA	Area (ha)	Biomassa Total (10^6 t)	C (10^6 t)	Biomassa (57%) (10^6 t)	C (57%) (10^6 t)
Floresta Ombrófila Aberta Submontana dominada por Bambu	4.639	0,760	0,369	0,433	0,210
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	13.916	3,899	1,891	2,223	1,078
Floresta Ombrófila Densa Submontana	8.820	2,819	1,367	1,607	0,779
Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	22	0,007	0,003	0,004	0,002
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	16.621	4,975	2,413	2,835	1,375
TOTAL	**44.017**	**12,460**	**6,043**	**7,102**	**3,445**

Nos 44.017 ha de florestas afetadas pelo fogo originalmente tinha aproximadamente $12,46 \times 10^6$ t de biomassa viva, contendo $6,04 \times 10^6$ t de carbono. Assumindo que a redução de biomassa viva associada aos incêndios florestais foi de 57%, a estimativa de biomassa aérea morta pelos incêndios florestais durante a seca de 2005 no município de Boca do Acre foi de $7,10 \times 10^6$ t. Em termos de carbono, o estoque para emissão potencialmente comprometido foi de $3,44 \times 10^6$ t oriundas dessa floresta por meio da queima inicial, da decomposição ou durante combustão em eventos de fogo subsequentes. Estudos de Alencar et al. (2006) mostram que as estimativas de biomassa aérea das árvores mortas pelo fogo na Amazônia Legal brasileira variaram entre 0,049 a 0,329 Gt durante o ano de El Niño (1998) e 0,003 a 0,021 Gt durante o ano sem El Niño (1995).

As estimativas reais do processo de emissão para a atmosfera decorrente desse carbono nos anos subsequentes dependerá do balanço entre a taxa de decomposição das árvores mortas pelo fogo e o recrescimento da floresta em um dado período de tempo.

As estimativas encontradas neste estudo podem ser consideradas conservadoras uma vez que algumas áreas onde há ocorrência de incêndio de sub-bosque (fogo rasteiro que se alastra no chão florestal sem afetar as copas das árvores) em florestas de dossel fechado não são possíveis de serem detectadas nas imagens de satélite. Consequentemente, a perda de biomassa viva e as emissões de carbono derivadas desse tipo de emissão, não são computadas para estas áreas.

4. Conclusões

Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas às imagens de satélites são uma importante ferramenta na detecção e quantificação de cicatrizes de incêndios florestais em regiões extensas e remotas na Amazônia, possibilitando identificar a distribuição espacial e temporal de eventos de fogo na floresta nessa região.

Atualmente, Boca do Acre possui aproximadamente 44 mil hectares de florestas afetadas pelo fogo. Estes resultados indicam que em períodos de secas extremas os incêndios florestais podem atingir extensas áreas e emitirem significativas quantidades de carbono para a atmosfera. Isso sugere que os incêndios florestais têm desempenhando um papel significativo tanto como uma ameaça ao equilíbrio biológico da floresta quanto na perda de biomassa e aumento das emissões de gases de efeito estufa. Esses impactos poderão ter implicações decisivas no futuro das florestas amazônicas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Serviços Ambientais da Amazônia (INCT Servamb) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo suporte financeiro (projetos: 305880/2007-1, 143399/2008-0, 563315/2008-3, 575853/2008-5, 573810/2008-7), ao Centro de Pesquisas Agroflorestais (CPAF) da Embrapa-Acre pelo suporte técnico e logístico, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização de dados.

Referências Bibliográficas

Alencar, A. Nepstad, D. Diaz, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**. 6: 1–17. 2006.

Asner, G.; Broadbent, E.; Oliveira, P.; Keller, M.; Knapp, D.; Silva, J. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proc. Nat. Acad. Sci. USA**. 103, 12947–12950. 2006.

Barbosa, R. I.; Fearnside, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do Evento El Niño (1997/98). **Acta Amazonica** 29 (4): 513-534. 1999.

Barlow, J.; Haugaasen, T.; Peres, C. A. Effects of ground fires on understory bird assemblages in Amazonian forests. **Biological Conservation**, 105(1), 157–169. 2002.

Barlow, J.; Peres, C. A.; Lagan, B. O.; Haugaasen, T. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. **Ecology Letters**, 6,6-8. 2003.

Brown, I. F.; Schroeder, W.; Setzer, A.; Maldonado, M. J. R.; Pantoja, N.; Duarte, A. F.; Marengo, J. Monitoring fires in Southwestern Amazonia rain forest. EOS, **Transaction American Geophysical Union**, 87 (26), 253-264. 2006.

Cochrane, M. A.; Schulze, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: Effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, 31 (1) 2–16. 1999.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data**: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 137 p. 1999.

Fearnside, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 134 p. 2003.

França, H. Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA. In: Nelson J. Ferreira (Coord.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 3, pg. 57-78. 2004.

Laurance, W. F.; Fearnside, P. M. Amazon burning. **Trends in Ecology and Evolution,** 14 (11), 457. 1999.

Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Carlos A. Nobre, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science,** 319, 169-172. doi: 10.1126/science.1146961. 2008.

Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Tomasella, J.; Oyama, M. D.; Sampaio, de O. G.; Oliveira, R. de; Camargo, H.; Alves, L.; Brown, I. F. The Drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, 21, 495–516. 2008.

Nelson, B. W.; Oliveira, A. C.; Vidalenc, D.; Smith, M.; Bianchini, M. C.; Nogueira, E. M. Florestas dominadas por tabocas semi-escandentes do gênero *Guadua*, no sudoeste da Amazônia. **In**: Seminário Nacional de Bambu, 2006, Distrito Federal. **Anais**...Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UNB, 2006, Resumo Expandido, p. 49-55.

Nepstad, D. C.; Moreira, A. G.; Alencar, A. A. **A floresta em chamas: Origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Brazil Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest. Brasília, p. 202. 1999.

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

Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; Barbosa, R. I.; Keizer, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, 256, 1853–1867. 2008b.

Pantoja, N. V.; Brown, I. F. Estimativas de áreas impactada pelo fogo no leste do Acre associadas à seca de 2005. **In:** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14, 2009, Natal, **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 6029-6036. CD-ROM, on-line. ISBN: 978-85-17-00044-7. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.13.29/doc/6029-6036.pdf>. Acesso em 25 out. 2010.

PRODES (Projeto Prodes: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite). Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>. Acesso em: 22 out. 2010.

Projeto RadamBrasil. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, vols. 1–23, Rio de Janeiro, RJ. 1973–1983.

Silva, R. P. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). 2008. 152p. (INPA - S586 CDD. 19 ed. 634.95). **Tese de Doutorado** (Ciências de Florestas Tropicais) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. 2007.

Turcq, B., Sifeddine, A., Martin, L., Absy, M. L., Soubies, F., Suguio, K., & Volkmer-Ribeiro, C. Amazonia rainforest fires: A lacustrine record of 7000 years, **Ambio**, 26(2), 139-142. 1998.

Uhl, C. Perspectives on wildfire in the humid tropics. **Conservation Biology**, 12, 942–943. 1998

Vasconcelos, S. S.; Brown, I. F. The use of hot pixels as an indicator of fires in the MAP region: tendencies in Recent years in Acre, Brazil. **In**: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis, **Anais...**São Jose dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 4549-4556. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031- 7. Disponível em:< http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.01.20.14/doc/4549-4556.pdf>. Acesso em 15 out. 2008.