

Queimadas na Amazônia Oriental em anos de Seca Extrema: fontes de combustível e propágulo de incêndios florestais

André Lima¹; Luiz Eduardo Oliveira de Cruz e Aragão¹; Valdete Duarte¹
Antônio Roberto Formaggio¹; Yosio Edemir Shimabukuro¹

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

Abstract. This paper aims to identify the fuel sources to burn scars and the sources of ignition responsible for forest fires that occur in the Eastern Amazon region (Pará State) during extreme drought scenarios. To reach this goal, were used deforestation maps provided by PRODES, a land use map from 2008 by the TerraClass project and maps of burn scars that occurred in 2005 and 2010. PRODES and TerraClass data were combined to generate 2005 and 2010 land use maps. Then, these maps were overlaid with 2005 and 2010 burn scar maps. It was observed that grasslands used as pastures were the major source of fuel for fires in the Eastern Amazon. This land use concentrates more than 30% of the burned area in 2005 and 2010, with a total burned area of 21 500 km² and 43 000 km², respectively. Burning in Forest areas was also representative in 2005 and 2010, with 24% and 27% of the burned area, respectively. Regarding the sources of ignition in forest fires, and considering only the burnt areas within a 2 km buffer distance from forest edges, burning in pastures was the main propagation source of fire in Forest areas. These results show that the environmental policies of "zero deforestation" do not eliminate the global contribution of Amazon greenhouse gases; it is necessary to create policies for more sustainable and less predatory land management than the use of fire.

Palavras-chave: burnt scars, land use, forest, cicatriz de queimadas, uso da terra, floresta.

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 habitat, corte seletivo e queimadas (Malhi *et al.*, 2008)

O histórico recente de secas na região amazônica mostra que, nas últimas três décadas, elas têm aumentado sua frequência e intensidade (Marengo *et al.* 2011). A seca de 2005 que atingiu principalmente, o sudoeste da região amazônica foi considerada, na época, a de maior intensidade dos últimos cem anos (Marengo *et al.* 2008). Sua ocorrência foi explicada como consequência do aumento de temperatura das águas superficiais do Atlântico e da deriva noroeste da zona de convergência intertropical. Essas anomalias são tidas como fenômenos raros, de ocorrência em intervalos de centena de anos (GOOD *et al.*, 2008; LI *et al.*, 2006; MARENGO *et al.*, 2008). No entanto, em 2010, foi registrada uma seca ainda mais impactante para a floresta amazônica do que a de 2005, a qual foi associada a interação de dois eventos: o El Niño e a Atlantic multidecadal oscillation (AMO)- (Marengo *et al.*, 2011)

Tais constatações corroboram as projeções obtidas por meio de certos modelos de circulação global, os quais mencionam o aumento da frequência e intensidade das secas no século XXI e os relacionam com o crescimento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (Christensen *et al.*, 2007; Malhi *et al.*, 2008). Dentre os vários impactos causados ao ambiente amazônico pelos cenários reais e projetados de secas extremas, salienta-se o aumento da inflamabilidade das florestas

maduras e secundárias e o conseqüente aumento das queimadas, transformando a floresta amazônica em fonte de Gases de Efeito Estufa (GEE) - (ARAGÃO et al., 2007; LEWIS et al. 2011)

Dentro do contexto de aumento de ocorrência de secas e do conseqüente aumento de queimadas na Amazônia, fica evidente que a queimada é um distúrbio de magnitude tal que necessita ter sua área quantificada, assim como já ocorre com a área de desmatamento. A identificação do material combustível (i.e. florestas maduras, florestas secundárias, pastagens, etc.) e das fontes de propágulo de queimadas florestais são outros aspectos importantes a serem pesquisados, seja do ponto de vista da estimativa de gases de efeito estufa (GEE) ou do alcance de proposições como as almejadas pelo REDD+.

Baseado em mapeamentos de cicatrizes de queimadas nos anos de 2005 e 2010, na região oriental da Amazônia brasileira, mais especificamente no Estado do Pará, propõe-se a identificação do material combustível dessas queimadas bem como a identificação das fontes de ignição responsáveis pelos incêndios florestais sob o impacto de secas severas.

2. Área de estudo

A área de estudo compreende o Estado do Pará, localizado na região norte do Brasil, Amazonia Oriental (Figura 01).

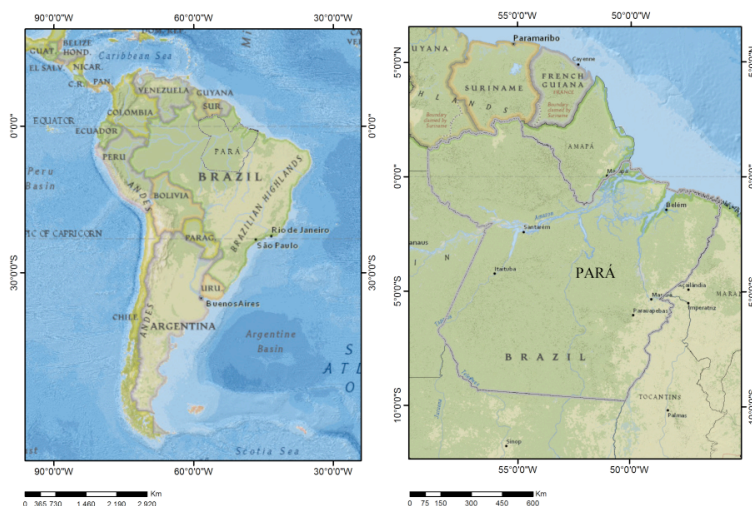


Figura 01. Localização da área de estudo.

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, 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.

3. Materiais

Foram utilizados como dados base para a execução do trabalho os seguintes:

Mapas de cicatrizes de queimadas identificadas no Estado do Pará no ano de 2005 e 2010 elaborados por Lima (2012) baseado na aplicação da metodologia proposta por (Shimabukuro et al., 2009) em imagens de refletância diária do sensor MODIS. Além dos dados de cicatrizes de queimadas, foram utilizados dados de desmatamento do Projeto de Estimativa de Desmatamento Bruto da Amazônia (PRODES, <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>), o mapa de "domínios de vegetação" do projeto RADAMBRASIL (RADAMBRASIL 1978) e do mapa de cobertura da terra do projeto TerraClass.

O projeto PRODES iniciou o mapeamento do desmatamento na região amazônica de forma sistemática em 1988. A base utilizada para a avaliação do desmatamento é o mapa de domínios de vegetação produzido pelo programa RADAMBRASIL na década de 1970. O mapeamento do PRODES utilizado foi realizado por interpretação visual de imagens Landsat TM discriminando-se as seguintes classes de cobertura: as áreas remanescentes da floresta amazônica ("Floresta"), o desmatamento acumulado até 1997, o desmatamento acumulado entre 1997 e 2000, e desmatamento anual a partir de 2001. Áreas pertencentes a outras formações (por exemplo, cerrado, caatinga, pântanos), no mapa base do RADAMBRASIL, são rotuladas como "Outros", e o desmatamento não é avaliado para essas áreas. Ressalta-se que, uma vez rotulada como "desmatamento" no mapa a área não é mais avaliada nos anos subsequentes.

O mapeamento de domínios de vegetação do Projeto RADAMBRASIL foi produzido por meio da análise integrada de imagens de sensor radar de visada lateral (Side Looking Airborne Radar – SLAR) e com dados de campo (i.e. dados geomorfológicos, pedológicos e geobotânicos) obtidos por meio de intenso esforço amostral. A partir da integração dessas informações foram produzidos mapas com a distribuição potencial da vegetação amazônica dotados de grande diversidade de tipologias, dada a escala grosseira de 1 : 1.000.000. Para a realização do presente trabalho as mais de 40 fitofisionomias identificadas pelo projeto RADAMBRASIL no Estado do Pará foram agrupadas nas seguintes formações vegetacionais: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Campinarana Arborizada, Campinarana Gramíneo Lenhosa, Formações Pioneiras e Refúgio Vegetacional.

O Projeto TerraClass é um projeto complementar ao PRODES, pois o mesmo mapeia/monitora a cobertura da terra que substituiu a floresta após o desmatamento identificado pelo PRODES. O primeiro mapeamento realizado pelo projeto TerraClass para toda a Amazônia Legal retrata o ano de 2008, sendo contempladas as seguintes classes de cobertura: Agricultura Anual, Área Urbana, Mineração, Pasto com Solo Exposto, Pasto Limpo, Pasto Sujo, Regeneração com Pasto, Regeneração Florestal. Tais classes de cobertura foram mapeadas por meio de dados do sensor TM. As classes Desmatamento, Floresta, Corpo Hídrico e Não Floresta, presentes no produto disponibilizado pelo TerraClass são provenientes do projeto PRODES, a classe Área não Observada se refere a áreas não mapeadas por falta de imagens livres de nuvem.

4. Metodologia

Para se estimar as classes de cobertura da terra queimadas em 2005 e 2010, o mapa de cobertura produzido pelo projeto TerraClass foi modificado por meio de dados de desmatamento do projeto

PRODES. Os mapas de desmatamento de 2005 a 2008 foram agrupados e rotulados como Floresta para assim, serem sobrepostos ao mapa de 2008 do TerraClass. O resultado dessa operação foi o mapa final de cobertura da terra de 2005. Já o mapa de cobertura de 2010 foi produzido sobrepondo os desmatamentos mapeados em 2009 e 2010 pelo PRODES ao TerraClass 2008. Tanto o mapa de cobertura de 2005, quanto o de 2010 tiveram sua resolução espacial degradada para 250 m, a mesma resolução dos mapas de cicatrizes de queimada.

Findada a compatibilização dos dados, confrontou-se o mapa de cobertura da terra de 2005 e 2010 com os mapas de queimada de 2005 e 2010 para que fossem identificadas e quantificadas as fontes de combustível. Para uma análise mais detalhada do impacto das queimadas na Floresta Amazônica foi utilizado o mapa de domínios da vegetação do RADAMBRASIL o qual, por identificar diversas formações florestais, possibilitou o detalhamento das formações que foram atingidas pelos incêndios de 2005 e de 2010. Ainda com relação aos incêndios florestais, investigou-se quais eram as coberturas que circundavam as queimadas florestais em um raio de até 2 km de distância, também foi contabilizada a área queimada dessas classes. Essa análise pautou-se na premissa de que os incêndios na floresta amazônica não são eventos naturais, e sim resultado de atividades antrópicas, em suas maiorias deliberadas.

5. Resultados e Discussão

Foi observado que a maior fonte de combustível para as queimadas na Amazônia Oriental são as gramíneas usadas como pastagem, as quais concentram mais de 30% da área queimada, tanto em 2005 quanto em 2010, que tiveram como área total queimada 21,5 mil km² e 43 mil km², respectivamente. Isso se deve à prática de queimada para eliminação de plantas invasoras e renovação da forragem. De início, essa técnica de manejo se mostra eficiente, dada a qualidade de pastagem que rebrota com o aporte de recursos nutricionais provenientes das cinzas da antiga cobertura e o baixo custo financeiro para tal (Dias-Filho, 2011). No entanto, perdas de minerais por volatilização no momento da queima, por aumento da lixiviação e por erosão superficial e a quase esterilização biológica do solo acarretam grande perda de fertilidade do solo, tornando as pastagens cada vez mais improdutivas e com alta concentração de invasoras (KAUFFMAN et al. 1998; ZARIN et al. 2005). Outro problema associado a esse tipo de manejo é que o mesmo serve de fonte de propágulo do fogo para vegetações naturais, seja acidentalmente ou de forma intencional. Desta maneira, imagina-se que essa seja uma das razões pela qual as classes de cobertura Floresta e a classe Área não Observada (representante, principalmente, de vegetações naturais arbustivas e herbáceas) sejam as que mais queimam depois das pastagens (Figura 2).

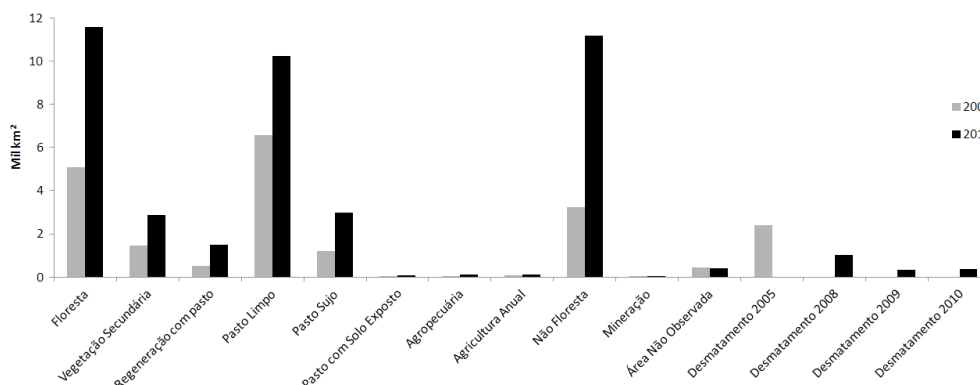


Figura 2. Classes de cobertura da terra que sofreram queimadas em 2005 e 2010.

Como pode ser observado na Figura 2 há uma ocorrência considerável de queimadas em áreas recentemente desmatadas. De fato, a associação entre queimada e desmatamento no processo de

mudança de uso e cobertura da região Amazônica é citada por diversos trabalhos (BOWMAN 2008; MORTON et al. 2008; ARAGÃO et al. 2008; LIMA et al. 2012). No entanto, em 2005 a proporção de queimada em desmatamento recente é bem maior que a detectada em 2010, i.e. 11% e 4%, respectivamente. Tal diferença pode ser resultado da diminuição das taxas de desmatamento da floresta amazônica no intervalo de tempo em questão.

A estimativa de área queimada em floresta em 2005 e 2010 apresentou a mesma tendência dos números da queimada global, isto é, com relação a 2005 a área queimada em floresta no ano de 2010 também aumentou na ordem de 2 vezes (Tabela 1). Em termos globais, como esperado devido suas maiores extensões, a Floresta Ombrófila Densa e a Aberta foram as que mais sofreram com as queimadas. No entanto, diferente de 2005, em 2010 os domínios de Floresta Ombrófila Aberta (73%) foram expressivamente mais atingidos pelo fogo que a Floresta Ombrófila Densa (11%).

Tabela 1. Fisionomias florestais queimadas em 2005 e 2010.

Formação Vegetal	2005 (km ²)	2005 (%)	2010 (km ²)	2010 (%)
Floresta Ombrófila Densa (FOD)	2335	46	1258	11
Floresta Ombrófila Aberta (FOA)	2551	50	8447	73
Floresta Estacional Semidecidual (FES)	46	1	323	3
Floresta Estacional Decidual (FED)	13	0	22	0
Ecótono - Savana / Flor. Estacional (S/FE)	8	0	36	0
Savana Florestada (SF)	139	3	1504	13
Total	5093	100	11590	100

Ainda sobre as queimadas em floresta, ressalta-se que a proporção de floresta queimada nos anos de 2005 e 2010 se manteve constante e elevada (respectivamente, 24 e 27%) ao ser comparada a estimativa feita por Lima et al., (2012) em área na Amazônia Ocidental. O estudo conduzido por Lima et al. (2012) mostrou que 11% da queimada ocorrida em 2005 foi em área de floresta. Cabe ressaltar que a maioria das evidências históricas sugere que a ocorrência de queimadas em floresta tropicais são eventos raros, com incidência em intervalos de centenas a milhares de anos (KAUFFMAN e UHL, 1990). Tais evidências advêm da datação de carvão vegetal encontrados na região Amazônica (Bush et al., 2007; Sanford, Saldarriaga, Clark, Uhl, & Herrera, 1985). No entanto, diversos trabalhos mostram que a fragmentação florestal aumenta a vulnerabilidade da Floresta Amazônica ao fogo (COCHRANE e LAURANCE, 2002; COCHRANE et al., 1999; KAPO, 1989;). Isso ocorre devido a alterações no microclima interno dos fragmentos, principalmente, em suas bordas que recebem maior luminosidade e assim, perdem umidade; no entanto, a possível fonte de ignição de queimadas nesses fragmentos florestais está no uso do fogo como prática de manejo de pastagens e na eliminação de florestas regeneradas, duas classes de cobertura amplamente presentes na Amazônia e que, portanto, não raro, circundam os fragmentos florestais (UHL e KAUFFMAN, 1990). Os fragmentos florestais também estão mais sujeitos a extração seletiva de madeira, atividade que tem como um dos efeitos de degradação o aumento da susceptibilidade a ocorrência de queimadas devido a abertura do dossel e ao aumento da liteira na vizinhança dos indivíduos extraídos (HOLDSWORTH e UHL, 1997).

Com o intuito de investigar quais são as possíveis fontes de ignição das queimadas em floresta levantou-se quais classes de cobertura circundavam as áreas queimadas em um raio de até 2 km. A classe circunvizinha preponderante em 2005 e 2010 foi a pastagem, com proporções superiores as 50% (Figura 3, Tabela 2).

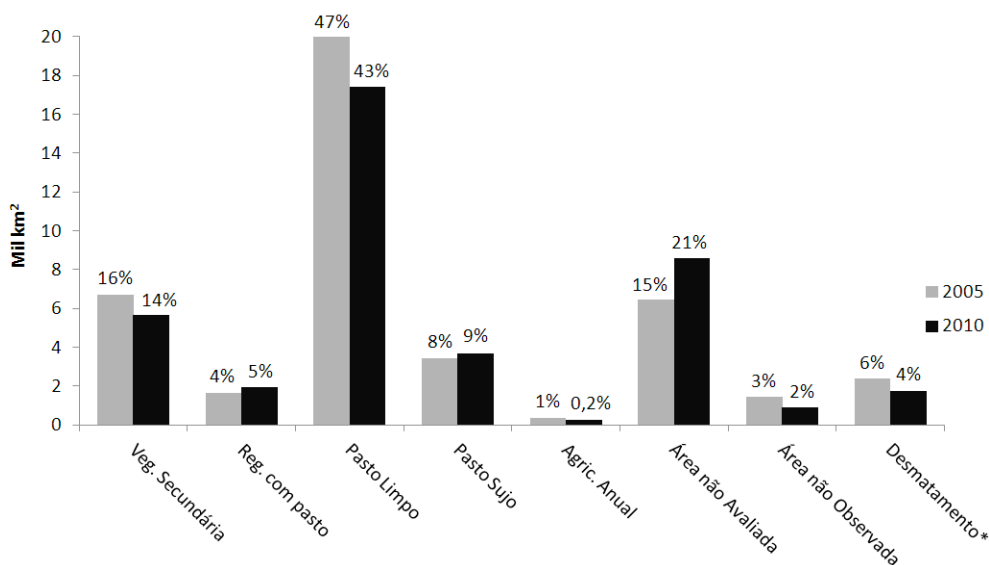


Figura 3. Classes de coberturas circunvizinhas as áreas de floresta queimadas no raio de até 2 km. Áreas de floresta dentro do raio de busca não foram computadas.

Dentre todas as classes vizinhas as queimadas florestais as pastagens foram as que mais tiveram queimadas em 2005 e 2010, com 18% e 30%, respectivamente (Tabela 2). Esses dados indicam as queimadas em pastagem como a maior fonte de ignição de queimadas em floresta.

Tabela 2. Classes de cobertura distantes até 2 km de queimadas florestais ocorridas em 2005 e 2010. Seguem inclusos dados sobre a área e proporção dessas classes de coberturas que foram queimadas. Áreas de floresta dentro do raio de busca não foram computadas.

Classe	2005			2010		
	Área total por Classe (km ²)	Área Queimada por Classe (km ²)	%	Área total por Classe (km ²)	Área Queimada por Classe (km ²)	%
Vegetação Secundária	6714	1454	3	5656	2870	7
Regeneração com pasto	1659	512	1	1949	1501	3
Pasto Limpo	19975	6560	15	17413	10230	23
Pasto Sujo	3444	1218	3	3701	2979	7
Agricultura Anual	358	102	0	250	135	0
Área não Avaliada	6452	3257	8	11188	8572	20
Hidrografia	657	0	0	795	0	0
Área Não Observada	1459	445	1	924	399	1
Desmatamento (2005 e 2008 a 2010)*	2407	1894	4	1758	1676	4
Total	43125	15443	36	43634	28362	65

*Salienta-se que Desmatamento (2005) e Desmatamento (2008 a 2010) são classes distintas.

Do ponto de vista de políticas de redução de emissão de gases do efeito estufa, tem-se aqui um importante dado que mostra a necessidade de políticas que contemplem também o tipo de manejo da terra e não apenas o dito “desmatamento zero”, conforme avaliam Aragão e Shimabukuro (2010)

6. Considerações Finais

A substituição do fogo no manejo das pastagens da região Amazônica por manejos menos impactantes é ponto crucial para efetividade de qualquer política de redução de emissão de GEE, seja por ser o principal combustível das queimadas, seja por se tratar da maior fonte de propágulo de queimadas em florestas. Tais fatos mostram que as políticas ambientais de “desmatamento zero” não eliminam sozinhas o aporte de Gases de Efeito Estufa, é também necessário criar políticas de manejo da terra que incentivem o uso técnicas menos predatórias que as queimadas.

Referências

- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., & Saatchi, S. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 363(1498), 1779–1785. doi:10.1098/rstb.2007.0026
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S., Anderson, L. O., & Shimabukuro, Y. E. (2007). Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, 34(7). doi:10.1029/2006gl028946
- Aragão, L. E. O. C., & Shimabukuro, Y. E. (2010). The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science (New York, N.Y.)*, 328(5983), 1275–8. doi:10.1126/science.1186925
- Bowman, M. S., Amacher, G. S., & Merry, F. D. (2008). Fire use and prevention by traditional households in the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, 67(1), 117–130. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.12.003
- Bush, M. B., Silman, M. R., de Toledo, M. B., Listopad, C., Gosling, W. D., Williams, C., de Oliveira, P. E., et al. (2007). Holocene fire and occupation in Amazonia: records from two lake districts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 362(1478), 209–218. doi:10.1098/rstb.2006.1980
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., et al. (2007). Regional climate projections. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report* (pp. 847–940). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cochrane, M. A., & Schulze, M. D. (1999). Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass, and Species Composition I. *Biotropica*, 31(1), 2–16. doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00112.x
- Cochrane, M., Alencar, A., Schulze, M., Souza, C. M., Nepstad, D. C., Lefebvre, P., Davidson, E. A., et al. (1999). Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forest. *Science*, 284(1832), 1832–1835. doi:10.1126/science.284.5421.1832
- Cochrane, M. a., & Laurance, W. F. (2002). Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18(03). doi:10.1017/S0266467402002237
- DeBano, L. . (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, 231-232, 195–206. doi:10.1016/S0022-1694(00)00194-3
- Dias-Filho, M. B. (2011). Processos e causas de degradação de pastagem. In M. B. Dias-Filho (Ed.), *Degradação de pastagens* (4th ed., pp. 30–115). Belém do Pará: Moacy Bernardino Dias-Filho.
- Gascon, C., Williamson, G. B., & da Fonseca, G. A. B. (2000). Receding Forest Edges and Vanishing Reserves . *Science* , 288 (5470) , 1356–1358. doi:10.1126/science.288.5470.1356
- Good, P., Lowe, J. A., Collins, M., & Moufouma-Okia, W. (2008). An objective tropical Atlantic sea surface temperature gradient index for studies of south Amazon dry-season climate variability and change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 363(1498), 1761–1766. doi:10.1098/rstb.2007.0024
- Holdsworth, A. R., & Uhl, C. (1997). Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications*, 7(2), 713–725.
- Johnson, M. S., Lehmann, J., Steenhuis, T. S., de Oliveira, L. V., Fernandes, E. C. M., & Vargem de Oliveira, L. (2005). Spatial and temporal variability of soil water repellency of Amazonian pastures. *AUSTRALIAN JOURNAL OF SOIL RESEARCH*, 43(3), 319–326. doi:10.1071/SR04097
- Kapos, V. (1989). Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of tropical Ecology*, 5(2), 173–185.
- Kauffman, J B, Cummings, D. L., Ward, D. E., & Kau, B. (1998). Fire in the Brazilian Amazon 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*, 113(3), 415–427.
- Kauffman, J.B., & Uhl, C. (1990). Interactions of Anthropogenic Activities, Fire, And Rain-Forests in The Amazon Basin. *Fire in the Tropical Biota*, 84, 117–134.

- Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., van der Heijden, G. M. F., Nepstad, D., & Heijden, G. M. F. V. D. (2011). The 2010 Amazon Drought. *Science*, *331*(6017), 554. doi:10.1126/science.1200807
- Li, W., Fu, R., & Dickinson, R. E. (2006). Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, *111*(D2). doi:10.1029/2005jd006355
- Lima, A., Silva, T. S. F., Aragão, L. E. O. C., Feitas, R. M. D., Adami, M., Formaggio, A. R., & Shimabukuro, Y. E. (2012). Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. *Applied Geography*, *34*, 239–246. doi:10.1016/j.apgeog.2011.10.013
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W. H., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, *319*(5860), 169–172. doi:10.1126/science.1146961
- Marengo, J. A. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, *78*(1), 79–96. doi:10.1007/s00704-004-0045-8
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., De Oliveira, G. S., De Oliveira, R., Camargo, H., et al. (2008). The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, *21*(3), 495–516. doi:10.1175/2007jcli1600.1
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., & Rodriguez, D. a. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, *38*(12), 1–5. doi:10.1029/2011GL047436
- Morton, D. C., Defries, R. S., Randerson, J. T., Giglio, L., Schroeder, W., van Der Werf, G. R., & Building, S. S. (2008). Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, *14*(10), 2262–2275. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x
- Nepstad, D. C., Uhl, C., Pereira, C. A., & daSilva, J. M. C. (1996). A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *OIKOS*, *76*(1), 25–39. doi:10.2307/3545745
- Phillips, O. L., Aragao, L., Lewis, S. L., Fisher, J. B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Malhi, Y., et al. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, *323*(5919), 1344–1347. doi:10.1126/science.1164033
- RADAM-BRASIL. (1978). Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL/DNPM.
- RADAM/BRASIL. (1976). *Folha AS.21-Santarém. Geologia, Geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. (Vol. 1, p. 510). Rio de Janeiro: DNPM.
- Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J.-L., De Miranda Chaves, A. G., Guimarães, V., de Oliveira, E., et al. (2002). Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology*, *22*(13), 1663–1686. doi:10.1002/joc.815
- Sanford, R. L., Saldarriaga, J., Clark, K. E., Uhl, C., & Herrera, R. (1985). AMAZON RAIN-FOREST FIRES. *Science*, *227*(4682), 53–55.
- Shimabukuro, Y., Duarte, V., Arai, E., Freitas, R. M., Lima, A., Valeriano, D. M., Brown, I. F., et al. (2009). Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, *30*(6), 1537–1546. doi:10.1080/01431160802509058
- Sorrensen, C. (2004). Contributions of fire use study to land use/cover change frameworks: Understanding landscape change in agricultural frontiers. *Human Ecology*, *32*(4), 395–420.
- Sorrensen, C. L. (2000). Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. *Forest Ecology and Management*, *128*(1-2), 11–25.
- TerraClass. (2011). *Sumário Executivo: Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia* (p. 37).
- Uhl, C., & Kauffman, J. (1990). Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern amazon. *Ecology*, *71*(2), 437–449.
- Uvo, C., Repelli, C. A., Zebiak, S. E., & Kushnir, Y. (1998). The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, *11*(Kousky 1979), 551–562.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R., & Lima, J. C. A. (1991). *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal* (p. 124). Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos e Estudos Ambientais.