

Fearnside, P.M. 2022. **Fogo na
Amazônia: Impactos
ambientais e sociais.** pp.
479-485. In: C.W.N. Moura & G.H.
Shimizu (eds.) *Botânica: Para Que e
Para Quem?: Desafios, Avanços e
Perspectivas na Sociedade
Contemporânea*. Sociedade Botânica do
Brasil, Brasília, DF. 517 pp. E-book. ISBN 978-65-
999117-1-2

FOGO NA AMAZÔNIA: IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Philip Martin Fearnside¹

Palavras-chave: queimadas; incêndios florestais; Floresta Amazônica; mudança climática; desmatamento.

TIPOS DE FOGO E SEUS DANOS

Ocorrências de fogo são agrupadas em duas categorias: queimadas e incêndios (e.g., Barlow *et al.*, 2020). Queimadas representam uso proposital do fogo, geralmente como parte do processo de desmatamento para preparar áreas para o plantio ou para manutenção de pastagens e roças agrícolas. Incêndios são fogos danosos, geralmente representando a entrada acidental de fogo na floresta adjacente a uma área sendo queimada propositalmente, ou, então, a destruição de culturas agrícolas, casas e outros bens por esses fogos. Ocasionalmente incêndios podem ser propositais, por ação criminal. Quase todas os incêndios florestais na Amazônia são de causa antropogênica (Fearnside, 1990). Incêndios significativos iniciadas por raios são raros nesta região devido à ocorrência de chuva junto com raios e a alta umidade da floresta na época do ano quando raios são mais comuns. Os incêndios são concentrados na época seca, quando as queimadas propositais são realizadas e a floresta está mais seca e inflamável. O constante aumento da ocupação humana na Amazônia resulta em mais incêndios, pois fornece os pontos de ignição sem os quais incêndios não ocorrem.

Queimadas e incêndios provocam diversos custos econômicos para as populações humanas nos locais desses eventos (Nepstad *et al.*, 1999a; de Mendonça *et al.*, 2004; Campanharo *et al.*, 2019, Oliveira *et al.*, 2019; Butt *et al.*, 2020; Rocha & Sant'Anna, 2022). A fumaça desses fogos gera micropartículas muito acima dos níveis considerados aceitáveis pela Organização Mundial de Saúde e provoca graves problemas respiratórias, lotando os hospitais da região (Campanharo *et al.*, 2022). A fumaça aumentou complicações com covid-19 (Schroeder *et al.*, 2022). Recentemente foi descoberto que este tipo de partícula também provoca câncer do pulmão, o que aparece anos depois (Crick Institute, 2022).

FOGO E DESMATAMENTO

FOGO E AGRICULTURA

O uso de fogo é uma parte essencial dos sistemas de agricultura da forma praticada por pequenos agricultores na região e para pecuária. Não é tão importante para agricultura mecanizada, como plantações de soja, com exceção de uso junto com desmatamento quando áreas são convertidas diretamente de floresta para essas culturas. Os solos na Amazônia são pobres em fósforo, geralmente o nutriente limitante nessa região, e os solos também são ácidos, limitando a disponibilidade do pouco fósforo que têm. A queimada da biomassa derrubada no desmatamento, ou da capoeira cortada em ciclos subsequentes de uso, aumenta o pH do solo e o teor de fósforo na forma disponível, fazendo com que a qualidade da queimada seja chave para a produção agrícola (Fearnside 1986, 1989). Uma queimada boa em solo pobre resulta em mais produção do que uma queimada ruim em um solo bom.

FOGO E PECUÁRIA

A pecuária é o principal indutor do desmatamento e, também, nas áreas que foram originalmente desmatadas para plantar culturas agrícolas a pastagem se torna o principal uso da terra poucos anos depois. O fogo é parte integral deste processo (van Marle *et al.*, 2017). Os incêndios florestais são aumentados em muito pela fragmentação da floresta induzida pelo desmatamento, sendo que isto resulta em extensas bordas com contato com as pastagens que são regularmente queimadas para controlar invasoras lenhosas e para regenerar o capim (e.g., Silva Junior *et al.*, 2018; dos Reis *et al.*, 2021).

As queimadas das pastagens resultam na liberação do carbono na biomassa remanescente da floresta anterior (Barbosa & Fearnside, 1996). A queimada também resulta em uma perda a curto prazo de carbono do solo (Barbosa & Fearnside, 2003) e pode contribuir para a perda substancial ao longo prazo observado em pastagens sob manejo típico na Amazônia (Fearnside & Barbosa, 1998). As queimadas repetidas da pastagem também atrasam o crescimento subsequente de capoeira quando as áreas são deixadas em pousio (Wandelli & Fearnside, 2015).

1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Coordenação de Dinâmica Ambiental.

FOGO E MANEJO FLORESTAL

A exploração madeireira, seja por ilegal ou por manejo florestal autorizado, deixa a floresta mais suscetível a incêndios florestais e intensifica os incêndios quando ocorrem (Nepstad *et al.*, 1999b; Barni *et al.*, 2021). Independente da causa, o provável aumento do risco de incêndios florestais prejudica os esforços para manter floresta amazônica com base no seu valor do seu estoque de carbono em evitar o aquecimento global (Aragão & Shimabukuro, 2010).

FOGO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

EMISSÕES DO DESMATAMENTO

O desmatamento amazônico emite gases de efeito estufa, uma parte dos quais são produzidos pelo fogo quando as áreas desmatadas são queimadas. Isto emite CO_2 , e, também, emite CO , CH_4 e fuligem (carbono preto), e estoque uma parte do carbono em carvão vegetal no solo, todos com implicações para mudanças climáticas (Fearnside, 2000, 2002). As quantidades de madeira consumida pelo fogo e a quantidade de carvão produzido variam bastante, dependendo da composição diamétrica das árvores (as árvores mais finas queimam mais), o grau de secagem da madeira, e outros fatores (Fearnside *et al.*, 1993, 1999, 2001, 2007; Graça *et al.*, 1999; Righi *et al.*, 2009), assim afetando o impacto climático do fogo. A porcentagem da madeira que queima determina, também, a porcentagem que não queima. A madeira restante após o fogo pode ser queimada subsequentemente quando a pastagem é queimada para a sua manutenção, ou pode decompor, assim também emitindo CO_2 , e, por meio de cupins, CH_4 (Martius *et al.*, 1996).

EMISSÕES DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Incêndios florestais emitem CO_2 , gases traços como CH_4 , e fuligem. As emissões variam bastante, dependendo especialmente das condições climáticas e o efeito de perturbações como incêndios anteriores, efeitos de borda ou exploração madeireira (Barbosa & Fearnside, 1999; Vasconcelos *et al.*, 2013a; Xaud *et al.*, 2013; Brando *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2019; Pontes-Lopes *et al.*, 2022). A emissão total é grande, chegando a ser equivalente à emissão do desmatamento que deixou de ser lançada na atmosfera durante o declínio nas taxas de desmatamento que ocorreu entre 2004 e 2012 (Aragão *et al.*, 2018).

FOGO EM SAVANAS E PASTAGENS

Savanas amazônicas, tais como o “lavrado” de Roraima, são sujeitos a fogo natural, e a fogo antropogênico. Fogos antropogênicos têm ocorridos há séculos por ações de povos indígenas, mas a frequência destes eventos tem aumentado enormemente em anos recentes, especialmente onde há acesso por estrada (Barbosa & Fearnside, 2005a). O aumento da frequência de fogo reduz o componente arbóreo das savanas, prejudicando a estocagem de carbono (Barbosa & Fearnside, 2005b). A queima de graminhas, seja em savanas naturais ou em pastagem plantadas, libera CO_2 e gases traço. A mesma quantidade de CO_2 que é emitida e depois reabsorvida quando a graminha cresce de novo, assim eliminando quase todo o impacto deste componente, mas os gases traço como CH_4 não entram no processo de fotossíntese e acumulam na atmosfera, assim contribuindo para o efeito estufa (Fearnside, 2000).

IMPACTO DO CLIMA SOBRE O FOGO

Muita pesquisa tem sido feita sobre a relação de parâmetros climáticos e a ocorrência e severidade do fogo na Amazônia. Clima mais quente e seco facilita incêndios, seja devido a mudança climática global, por exemplo por meio de secas provocadas por El Niño ou outros fenômenos, ou pelas mudanças de microclima provocadas por efeitos de borda ou abertura da copa por exploração madeireira. A associação entre grandes secas e incêndios catastróficos, assim como com aumentos de queimadas em áreas já desmatadas, é evidente (Nepstad *et al.*, 2004; Alencar *et al.*, 2006; Aragão *et al.*, 2007, 2008; Vasconcelos *et al.*, 2013b; da Silva *et al.*, 2018, 2021a; Fonseca *et al.*, 2017; Silva Junior *et al.*, 2019; Silveira *et al.*, 2020). As projeções climáticas para o futuro incluem aumento de secas com condições sem precedentes (Kay *et al.*, 2022), além de continuação do aumento da duração da época seca (Butt *et al.*, 2011). Estas mudanças implicam em muito mais incêndios florestais (Cochrane & Barber, 2009; Silvestrini *et al.*, 2011; Burton *et al.* 2021).

FOGO E A SOBREVIVÊNCIA DA FLORESTA AMAZÔNICA

Os incêndios florestais têm o potencial de ameaçar a própria existência da floresta amazônica. Isto ficou evidente pelos enormes incêndios durante a seca do El Niño de 2015/2016, inclusive com um incêndio atingindo uma área de um milhão de hectares perto a Santarém, grande parte em área protegida (Berenguer *et al.*, 2021). A frequência de incêndios de área maior, no lugar de incêndios localizados, pode aumentar (Pueyo *et al.*, 2010). O incêndio em Santarém matou principalmente as árvores grandes, que são as que detém o principal estoque de carbono e que mantém o microclima na floresta. Os incêndios florestais são inerentemente mais perigosos que o desmatamento, pois o desmatamento é uma ação proposital que as pessoas podem decidir a não fazer, ou o governo pode tomar medidas para convencê-las a não fazer, mas se a floresta esteja queimando de forma acidental é muito mais difícil a parar.

O perigo maior dos incêndios é que iniciam um ciclo vicioso, um processo de retroalimentação positiva que degrada a floresta até que deixa de existir como floresta (Cochrane *et al.*, 1999; Cochrane, 2003; Barlow & Peres, 2008). No primeiro incêndio as chamas são curtas, mas, mesmo assim, matam um certo número de árvores. As árvores amazônicas têm casca fina, diferentes de árvores em ambientes onde as espécies são adaptadas ao fogo, como no Cerrado. O fogo se desloca lentamente pelo chão da floresta, queimando a serrapilheira e demorando para passar por cada árvore, assim esquentando o câmbio embaixo da casca e matando as árvores mais sensíveis. Na próxima grande seca haverá muita madeira morta na floresta deixada pela mortalidade das árvores, e quando um incêndio entra as chamas vão ser mais compridas e mais quentes, matando mais árvores. Depois de três ou quatro incêndios a floresta pode ser eliminada.

Os danos à floresta causados por incêndios, junto com a degradação por exploração madeireira, já reduziram a biomassa da floresta em enormes áreas da floresta remanescente, especialmente na Amazônia oriental (Berenguer *et al.*, 2014). A magnitude da mortalidade e os mecanismos pelos quais as árvores morrem têm sido os focos de um crescente número de estudos (e.g., Barlow *et al.*, 2003; Alencar *et al.*, 2004; Morton *et al.*, 2013; da Silva *et al.*, 2020, 2021b; Lopes *et al.*, 2021).

O QUE SE PODE FAZER

Controlar fogo é difícil, tanto no caso de queimadas propositalis como de incêndios florestais. Isto foi demonstrado pela inabilidade do Exército Brasileiro de conter os surtos de fogo em cada ano de 2019 a 2022, na tentativa de fazer cumprir decretos do Presidente Jair Bolsonaro proibindo o uso de fogo durante 120 dias, o resultado sendo números recordes de pontos de fogo cada ano (Silveira *et al.*, 2020, 2022; Sordi, 2022). O Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo), que é mais eficiente que o Exército, tem a sua atuação limitada às unidades de conservação federais, enquanto o restante da Amazônia é responsabilidade de governos estaduais e municipais (Eufemia *et al.*, 2022). É evidente que a escala dos eventos de fogo ultrapassa em muito a capacidade de controle. Um exemplo do desafio que representa foi o “grande incêndio de Roraima” durante o El Niño e 1997/1998, quando mesmo trazendo bombeiros de Argentina não houve essencialmente nenhuma diminuição do incêndio até que a época chuvosa começasse em março de 1998 (e.g., Barbosa & Fearnside, 1999). Evidentemente, controlar incêndios é muito caro e de eficácia limitada depois do fogo estar iniciada em grande escala.

É evidente que precisa agir antes dos fogos começarem. Algumas medidas diminuem as chances de queimadas escaparem de controle e se tornar incêndios, tais como, preparação de aceiros para proteger florestas e outras áreas vizinhas, tocar fogo no final do dia quando há menos calor e vento, e escolher uma data para queimar quando o combustível não esteja totalmente seca. Coordenação com vizinhos também ajuda evitar o espalhamento para outras propriedades.

Alguns projetos têm experimentado com alternativas ao uso de fogo na agricultura do tipo corte e queima. Um e o projeto hoje conhecido como “Agricultura sem Fogo,” que começou como o projeto SHIFT (*Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics*) nos anos 1990, uma colaboração entre a Alemanha e a Embrapa-Amazônia Oriental (Denich *et al.*, 2004). O estudo continua em várias unidades de Embrapa (Sampaio *et al.*, 2008; Leão *et al.*, 2020). Isto usa vários desenhos de trituradores montados em tratores para triturar capoeira (não troncos da floresta primária). Os resultados são considerados satisfatórios. No entanto, é evidente que ainda não se espalhou em grande escala, provavelmente por depender de equipamentos que não são baratos para obter, manter e operar, portanto, exigindo um subsídio nem sempre disponível.

Outro sistema foi a “tecnologia Yurimaguas”, desenvolvido em uma estação de experimentação em Yurimaguas, Peru por agrônomos da Universidade Estadual de Carolina do Norte, nos EUA (Sánchez *et al.*, 1982). O sistema propunha substituir a agricultura de corte e queima por cultura contínua, mantida com insumos de adubos e agroquímicos. Uma série de problemas agrônômicos, sociais e financeiros impede que o sistema alcançasse seu objetivo de substituir

o desmatamento e o uso do fogo (Fearnside, 1987). Mesmo se não tivesse esses impedimentos, um problema básico, assim como no caso do triturador, é que é difícil concorrer com algo tão barato e facilmente disponível como o uso de fogo. Em termos do problema maior de desmatamento e fogo na Amazônia brasileira, outra limitação é que essas iniciativas só se tratam de pequenos agricultores familiares, enquanto o grosso do problema se refere a pecuaristas que desmatam e queimam áreas muito maiores. Para os pecuaristas a solução não seria novas tecnologias, mas sim diferentes decisões políticas difíceis para os induzir a investir em atividades econômicas menos danosas (Fearnside, 2017, 2022).

REFERÊNCIAS

- Alencar AAC, Solórzano LA, Nepstad DC. 2004. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications* 14: 139–149. doi: 10.1890/01-6029
- Alencar AC, Nepstad D., Diaz MCV. 2006. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions* 10: art. 6. doi: 10.1175/EI150.1
- Aragão LEOC, Shimabukuro YE. 2010. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science* 328: 1275–1278. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1186925>
- Aragão LEOC, Malhi Y, Roman-Cuesta RM, Saatchi S, Anderson LO, Shimabukuro YE. 2007. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters* 34: art. L07701. doi:10.1029/2006GL028946
- Aragão LEOC, Malhi Y, Barbier, N, Lima A, Shimabukuro Y, Anderson L, 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: 1779–1785. doi: 10.1098/rstb.2007.0026
- Aragão LEOC, Anderson LO, Fonseca et al. 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications* 9: art. 536. doi: 10.1038/s41467-017-02771-y
- Barbosa RI, Fearnside PM. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 101: 25,847–25,857. doi: 10.1029/96JD02090
- Barbosa RI, Fearnside PM. 1999. 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. doi: 10.1590/1809-43921999294534
- Barbosa RI, Fearnside PM. 2003. Burning of pasture in Amazonia: Short-term changes in soil carbon stocks. *Brazilian Journal of Ecology* 8: 11–16. http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2003/Artigo_SBE-solo%20curto%20prazo.pdf
- Barbosa RI, Fearnside PM. 2005a. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 204: 371–384. doi: 10.1016/j.foreco.2004.09.011
- Barbosa RI, Fearnside PM. 2005b. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 216: 295–316. doi: 10.1016/j.foreco.2005.05.042
- Barlow JB, Peres CA. 2008. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 363: 1787–1794. doi: 10.1098/rstb.2007.0013
- Barlow JB, Peres CA, Lagan BO, Haugaasen T. 2003. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. *Ecology Letters* 6: 6–8. doi: 10.1046/j.1461-0248.2003.00394.x
- Barlow J, Berenguer E, Carmenta R, França F. 2020. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Global Change Biology* 26: 319–321. doi: 10.1111/gcb.14872
- Barni PE, Rego ACM, Silva FCF et al. 2021. Logging Amazon forest increased the severity and spread of fires during the 2015–2016 El Niño. *Forest Ecology and Management* 500: art. 119652. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119652
- Berenguer E, Ferreira J, Gardner TA et al. 2014. large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Global Change Biology* 20: 3713–3726, doi: 10.1111/gcb.12627
- Berenguer E, Lennox GD, Ferreira J et al. 2021. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 118: art. e2019377118. doi:10.1073/pnas.2019377118
- Brando PM, Balch JK, Nepstad DC et al. 2014. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 111: 6347–6352. doi: 10.1073/pnas.1305499111
- Burton C, Kelley DI, Jones CD, Betts RA, Cardoso M, Anderson L. 2021. South American fire and their impacts on ecosystems increase with continued emissions. *Climate Resilience and Sustainability* 1: art. E8. doi: 10.1002/cli2.8
- Butt EW, Conibear L, Reddington CL et al. 2020. Large air quality and human health impacts due to Amazon forest and vegetation fires. *Environmental Research Communications* 2: art. 095001. doi: 10.1088/2515-7620/abb0db
- Butt N, de Oliveira PA, Costa MH. 2011. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. *Journal of Geophysical Research* 116: art. D11120. doi: 10.1029/2010JD015174, 2011D111201of8

- Campanharo WA, Lopes AP, Anderson LO, da Silva TFMR, Aragão LEOC. 2019. Translating fire impacts in southwestern Amazonia into economic costs. *Remote Sensing* 11: art. 764. doi: 10.3390/rs11070764
- Campanharo WA, Morello T, Christofoletti MAM, Anderson LO. 2022. Hospitalization due to fire-induced pollution in the Brazilian Legal Amazon from 2005 to 2018. *Remote Sensing* 14: art. 69. doi:10.3390/rs14010069.
- Cochrane MA. 2003. Fire science for rainforests. *Nature* 421: 913–919, doi: 10.1038/nature01437
- Cochrane MA, Barber CP. 2009. Climate change, human land use and future fires in the Amazon. *Global Change Biology* 15: 601–612. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01786.x
- Cochrane MA, Alencar A, Schulze MD, Souza CM, Nepstad DC, Lefebvre P, Davidson EA. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284: 832–1835. doi: 10.1126/science.284.5421.1832
- Crick Institute. 2022. Scientists reveal how air pollution can cause lung cancer in people who have never smoked. Crick Institute, 10 September 2022. https://www.crick.ac.uk/news/2022-09-10_scientists-reveal-how-air-pollution-can-cause-lung-cancer-in-people-who-have-never-smoked
- da Silva SS, Fearnside PM, Graça PMLA, Brown IF, Alencar A, de Melo AWF. 2018. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management* 424: 312–322. doi: 10.1016/j.foreco.2018.04.041
- da Silva SS, de Oliveira IS, Anderson LO et al. 2019. Incêndios florestais e queimadas na Amazônia sul ocidental. *Mapiense* 3: 27–35. <http://www.herencia.org.bo/webdocs/publicaciones/Mapiense-3.pdf>
- da Silva SS, Numata I, Fearnside PM et al. 2020. Impact of fires on open bamboo forest in years of extreme drought in southwestern Amazonia. *Regional Environmental Change* 20: art. 127. doi: 10.1007/s10113-020-01707-5
- da Silva SS, de Oliveira IS, Morello TF et al. 2021a. Burning in southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019. *Journal of Environmental Management* 286: art. 112189. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112189
- da Silva SS, Fearnside PM, Graça PMLA et al. 2021b. Increasing bamboo dominance in southwestern Amazon forests following intensification of drought-mediated fires. *Forest Ecology and Management* 490: art. 119139. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119139
- de Mendonça MJC, Vera Diaz M del C, Nepstad D, Seroa da Motta R, Alencar A, Gomes JC, Ortiz RA. 2004. The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics* 49: 89–105, doi:10.1016/j.ecolecon.2003.11.011
- Denich M, Vielhauer K, Kato MS de A, Block A, Kato OR, de Abreu Sá TD, Lücke W, Vlek PLG. 2004. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: the experience of eastern Amazonia. *Agroforestry Systems* 61: 91–106. doi: 10.1023/B:AGFO.0000028992.01414.2a
- dos Reis M, Graça PMLA, Yanai AM, Ramos CJP, Fearnside PM. 2021. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management* 88: art. 112310. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112310
- Eufemia L, Turetta APD, Bonatti M, da Ponte E., Sieber S. 2022. Fires in the Amazon Region: Quick Policy Review. *Development Policy Review* 40: art. e12620. doi: 10.1111/dpr.12620
- Fearnside PM. 1986. *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest*. New York, NY, E.U.A., Columbia University Press. 293 pp.
- Fearnside PM. 1987. Rethinking continuous cultivation in Amazonia. *BioScience* 37: 209214. doi: 10.2307/1310520
- Fearnside PM. 1989. Burn quality prediction for simulation of the agricultural system of Brazil's Transamazon Highway colonists. *Turrialba* 39(2): 229–235. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10697>
- Fearnside PM. 1990. Fire in the tropical rain forests of the Amazon Basin. pp. 106–116 In: J.G. Goldammer (ed.) *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges*. Heidelberg, Alemanha, SpringerVerlag. 490 pp.
- Fearnside PM. 2000. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46: 115–158. doi: 10.1023/A:1005569915357
- Fearnside PM. 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados* 16: 99–123. doi: 10.1590/S0103-40142002000100007
- Fearnside PM. 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: H. Shugart (ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. New York, E.U.A., Oxford University Press. doi: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.102
- Fearnside PM. (ed.) 2022. *Destrução e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Manaus, Amazonas, Editora do INPA. 356 pp. (no prelo). <https://bit.ly/3M69ruB>
- Fearnside PM, Barbosa RI. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108: 147–166. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00222-9

- Fearnside PM, Leal Filho N, Rodrigues FJA. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 98(D9): 16,733-16,743. doi: 10.1029/93JD01140
- Fearnside PM Graça PMLA, Leal Filho N, Rodrigues FJA, Robinson JM. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management* 123: 65-79. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00016-X
- Fearnside PM, Graça PMLA, Rodrigues FJA. 2001. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management* 146(1-3): 115-128. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00450-3
- Fearnside PM, Barbosa RI, Graça PMLA. 2007. Burning of secondary forest in Amazonia: Biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Apiaú, Roraima, Brazil. *Forest Ecology and Management* 242: 678-687. doi: 10.1016/j.foreco.2007.02.002
- Fonseca MG, Anderson LO, Arai E. 2017. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015-2016 El Niño event. *Ecological Applications* 27: 2514-2527. doi: 10.1002/eap.1628
- Graça PMLA, Fearnside PM, Cerri CC. 1999. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management* 120: 179-191. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00547-7
- Kay G, Dunstone NJ, Smith DM, Betts RA, Cunningham C, Scaife AA. 2022. Assessing the chance of unprecedented dry conditions over North Brazil during El Niño events. *Environmental Research Letters* 17: art. 064016. doi:10.1088/1748-9326/ac6df9
- Leão VM, da Silva Teixeira K, de Assis Oliveira DP, de Abreu Sá TD, Kato OR. 2020. Agricultura de corte sem queima e o projeto Tipitamba. *Cadernos de Agroecologia* 15(2). <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/3100>
- Lopes AP, Silva CVJ, Barlow J et al. 2021. Drought-driven wildfire impacts on structure and dynamics in a wet central Amazonian forest. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences* 288: art. 20210094. doi: 10.1098/rspb.2021.0094
- Martius C, Fearnside PM, Bandeira AG, Wassmann R. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536. doi: 10.1016/0045-6535(96)00201-9
- Morton DC, Page YL, DeFries RS, Collatz GJ, Hurtt GC. 2013. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 368: art. 20120163. doi: 10.1098/rstb.2012.0163
- Nepstad DC, Moreira AG, Alencar AA. 1999a. *Flames in the Rain Forest: Origins, Impacts and Alternatives to Amazonian Fires*. Brasília, DF, The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, Ministério do Meio Ambiente. 161 pp. https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2019/07/flames_in_the_rainforest.pdf (acesso Out 2022).
- Nepstad DC, Veríssimo A, Alencar A et al. 1999b. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508. doi: 10.1038/19066
- Nepstad DC, Lefebvre PA, Silva UL. 2004. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Global Change Biology* 10: 704-717. doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00772.x
- Oliveira AS, Rajão RG, Soares Filho BS et al. 2019. Economic losses to sustainable timber production by fire in the Brazilian Amazon. *Geographical Journal* 185: 55-67. doi: 10.1111/geoj.12276
- Pontes-Lopes A, Dalagnol R, Dutra AC et al. 2022. Quantifying post-fire changes in the aboveground biomass of an Amazonian Forest based on field and remote sensing data. *Remote Sensing* 14: art. 1545. doi: 10.3390/rs14071545
- Pueyo S, Graça PMLA, Barbosa RI, Cots R, Cardona E, Fearnside PM. 2010. Testing for criticality in ecosystem dynamics: The case of Amazonian rainforest and savanna fire. *Ecology Letters* 13: 793-802. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01497.x
- Righi CA, Graça PMLA, Cerri CC, Feigl BJ, Fearnside PM. 2009. Biomass Burning in Brazil's Amazonian "Arc of Deforestation": Burning efficiency and charcoal formation in a fire after mechanized clearing at Feliz Natal, Mato Grosso. *Forest Ecology and Management* 258: 2535-2546. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.010
- Rocha R, Sant'Anna AA. 2022. Winds of fire and smoke: Air pollution and health in the Brazilian Amazon. *World Development* 151: art. 105722. doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105722
- Sampaio CA, Kato OR, Nascimento-e-Silva D. 2008. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo à sustentabilidade florestal no Nordeste Paraense. *Revista de Gestão Social e Ambiental* 2(1): 41-53. <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/60>
- Sanchez PA, Bandy DE, Villachica JH, Nicholaidis III JJ. 1982. Amazon Basin soils: Management for continuous crop production. *Science* 216: 821-827. doi: 10.1126/science.216.4548.821

- Schroeder L, de Souza, EM, Rosset C et al. 2022. Fire association with respiratory disease and COVID-19 complications in the State of Pará, Brazil. *The Lancet Regional Health – Americas*, 6: art. 100102. doi: 10.1016/j.lana.2021.100102
- Silva Junior CHL, Aragão, LEOC, Fonseca MG, Almeida CT, Vedovato LB, Anderson LO. 2018. Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in central Brazilian Amazonia. *Forests* 9(6): art. 305. doi: 10.3390/f9060305
- Silva Junior CHL, Anderson LO, Silva AL et al. 2019. Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. *Frontiers in Earth Science* 7: art.97. doi: 10.3389/feart.2019.00097
- Silveira MVF, Petri CA, Broggio IS et al. 2020. Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons learned from the 2019 fire crisis. *Land* 9(12): art. 516. doi: 10.3390/land9120516
- Silveira MVF, Silva-Junior CHL, Anderson LO, Aragão LEOC. 2022. Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence. *Global Ecology and Biogeography* 31: 2026-2040. doi: 10.1111/geb.13577
- Silvestrini R, Soares-Filho B, Nepstad D, Coe M, Rodrigues H, Martins A. 2011. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications* 21:1573-1590. doi: 10.2307/23023102
- Sordi J. 2022. Blazing start to Amazon's 'fire season' as burning hits August record. *Mongabay*, 1 September 2022. <https://news.mongabay.com/2022/09/blazing-start-to-amazons-fire-season-as-burning-hits-august-record/> (acesso Out 2022).
- van Marle MJE, Field RD, van der Werf GR et al. 2017. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973-2014). *Global Biogeochemical Cycles* art. 2016GB005445. doi: 10.1002/2016GB005445
- Vasconcelos SS, Fearnside PM, Graça PMLA, Nogueira EM, de Oliveira LC, Figueiredo EO. 2013a. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of area and potential carbon emissions. *Forest Ecology and Management* 291: 199-208. doi: 10.1016/j.foreco.2012.11.044
- Vasconcelos SS, Fearnside PM, Graça PMLA, Dias DV, Correia FWS. 2013b. Variability of vegetation fires with rain and deforestation in Brazil's state of Amazonas. *Remote Sensing of Environment* 136: 199-209. doi: 10.1016/j.rse.2013.05.005
- Wandelli EV, Fearnside PM. 2015. Secondary vegetation in central Amazonia: Land-use history effects on aboveground biomass. *Forest Ecology and Management* 347: 140-148. doi: 10.1016/j.foreco.2015.03.020
- Xaud HAM, Martins FSRV, dos Santos JR. 2013. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 294: 97-106. doi: 10.1016/j.foreco.2012.11.036