

CÁLCULO DE RISCO E DETECÇÃO DE QUEIMADAS: UMA ANÁLISE NA AMAZÔNIA ORIENTAL

CALCULATION OF ALERT AND DETECTION OF WILDFIRE: AN ANALYSIS IN THE EASTERN AMAZON

Giordani Rafael

Conceição Sodré 

Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA). Bolsista do Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém (PA), Brasil.

Everaldo Barreiros de Souza 

Professor e pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UFPA – Belém (PA), Brasil.

Juarez Ventura de Oliveira 

Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UFPA. Bolsista do ITV – Belém (PA), Brasil.

Bergson Cavalcanti Moraes 

Professor e Pesquisador, UFPA – Belém (PA), Brasil.

Endereço para correspondência:

Giordani Rafael Conceição Sodré – Faculdade de Meteorologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Pará – Rua Augusto Corrêa, 1 – Guamá – CEP 66075-110 – Belém (PA), Brasil – E-mail: rafaelsodre2009@hotmail.com

Recebido em: 04/05/2018

Aceito em: 30/07/2018

RESUMO

O sensoriamento remoto e o índice de risco de fogo são as formas de detecção e previsão de queimadas utilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para monitorar a frequência de queimadas no Brasil, no entanto observa-se que a ocorrência de uma queimada nem sempre é prevista pelo índice do risco de fogo, particularmente na região da Amazônia oriental. Assim, esta pesquisa foi motivada pelo objetivo de analisar o padrão espaço-temporal das queimadas detectadas via satélite e a eficiência dos alertas de previsão de queimadas gerados pelo cálculo do risco de fogo, considerando a variabilidade dos fenômenos meteorológicos que podem influenciar o regime pluviométrico e alterar a ocorrência de focos de queimada na região da Amazônia oriental. As análises desta investigação consideraram as alterações das condições meteorológicas moduladas pela variabilidade interanual do fenômeno El Niño Oscilação Sul ocorridas entre os anos de 2000 e 2017. Os resultados mostraram que, em anos menos chuvosos, os focos de queimada apresentaram maior frequência ao longo do ano. Já nos mais chuvosos, tenderam a concentrar-se no segundo semestre em proporção superior à observada nos anos mais secos. A maior parte dos focos de queimada (80%) ocorreu em áreas alteradas pela atividade humana, resultado não captado pelo índice de risco de fogo, indicando que, por este levar em conta somente variáveis ambientais e não incluir a ação do homem como parâmetro, a eficiência em antecipar a ocorrência de uma queimada se torna limitada.

Palavras-chave: focos de calor; El Niño/La Niña; risco de fogo.

ABSTRACT

Remote sensing and fire risk index are forms of detection and prediction of wildfire commonly used by the National Institute for Space Research to monitoring the frequency of fires in Brazil. However, fire risk index does not detect the wildfire occurrence in some cases, particularly in Eastern Amazon. Thus, this research was motivated by the objective of analyzing the space / time pattern of the fires detected by satellite and the efficiency of the fire prediction alerts generated by fire risk calculation, considering the variability of these meteorological phenomena that can influence the rainfall regime and change the occurrence of wildfires in the region of Eastern Amazonia. The analyses of this research considered the changes in the meteorological conditions modulated by the interannual variability of the phenomenon El Niño / Southern Oscillation occurred between the years of 2000 to 2017. The results showed that in less rainy years the fires were more frequent throughout the period, while, in rainier years, tended to be more concentrated in the second semester, in a higher proportion than that observed in drier years. The largest portion of the wildfires (80%) occurred in areas altered by human activity”, this result is not perceived by fire alerts, due to the fact that only environmental variables are considered in the calculation, not considering human activity as a parameter, therefore limiting the accuracy in anticipating wildfire occurrence.

Keywords: active fire; El Niño/La Niña; fire alerts.

INTRODUÇÃO

O uso tradicional do fogo por produtores rurais no Brasil é comum, principalmente nas regiões consideradas mais pobres como Norte e Nordeste. A resistência à assimilação de novas técnicas que desestimulem a prática do uso do fogo entre os produtores rurais tradicionais tem levado a números recordes de queimadas em todo o país (GONÇALVES, 2005; SCHROEDER *et al.*, 2009).

Os esforços empregados desde o início da década de 1980 ainda não conseguiram resultados positivos, por questões econômicas e culturais que envolvem o uso da prática da queimada na Amazônia. Do ponto de vista econômico, o uso do fogo apresenta-se, para o produtor rural, como uma técnica rápida e barata para a limpeza e fertilização do solo, o que torna necessário o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo. Do ponto de vista cultural, o uso do fogo está atrelado à questão de práticas agrícolas tradicionais, condição que reduz a aceitação de novas tecnologias que possam alterar o seu modo de uso da terra (DE ABREU SÁ *et al.*, 2006-2007).

A região da Amazônia oriental, constituída do nordeste e sudeste do estado do Pará, é a que mais produz queimadas relacionadas ao desmatamento, à pecuária e à produção agrícola de grande, médio e pequeno porte do Norte do Brasil. É o caso do município de Paragominas, que possui características do ponto de vista físico, geográfico e político que ilustram bem o quadro geopolítico e ambiental da Amazônia. Em termos físicos, a cidade não possui estações climáticas bem definidas ao longo do ano, além de sofrer influência das variações térmicas dos oceanos mais próximos como do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico equatorial e do Dipolo do Atlântico equatorial, cujos mecanismos tropicais oceano-atmosfera alteram os padrões atmosféricos e a configuração de precipitação regional (CAPISTRANO, 2012; SODRÉ *et al.*, 2015). O ENOS é um fenômeno de interação acoplado oceano-atmosfera associado às alterações dos padrões normais da temperatura da superfície do mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico equatorial (MORAES NETO *et al.*, 2007; COSTA, 2017) em que, na fase

negativa (La Niña), as chuvas na Amazônia são geralmente acima do normal climatológica, e, na fase positiva, (El Niño) abaixo do normal (GRIMM *et al.*, 1998; 2000; CAPISTRANO, 2012; MORAES *et al.*, 2015).

Sob o aspecto geográfico, o município de Paragominas está situado na zona do Arco do Desmatamento, local onde a persistente degradação ambiental levou à supressão de grande parte da vegetação primária e à instalação de diversas formas de uso e ocupação do solo. Tal condição levou Paragominas a ser o primeiro município amazônico a aderir às políticas federais de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável por meio do Projeto Município Verde, no entanto, 10 anos após tal adesão e obtendo significativas reduções no desmatamento, a degradação ambiental provocada pelos recorrentes focos de queimada colocaram Paragominas entre os municípios mais vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais na Amazônia (CARNEIRO; ASSIS, 2015; SANTOS *et al.*, 2017).

Em razão da dificuldade de evitar o uso do fogo e das frequentes queimadas que ocorrem todos os anos em diversas localidades do Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu uma metodologia para o cálculo do risco de fogo (RF) sobre todos os biomas brasileiros para previsão por meio de alertas de queimada. Porém, por o referido cálculo ser gerado para todo o território brasileiro e ser baseado nas características de uso e cobertura do solo, torna-se necessária uma análise mais pontual, em alta resolução, para avaliar na escala municipal a precisão da metodologia proposta pelo INPE (SETZER *et al.*, 2017).

Esta pesquisa teve por objetivo analisar o padrão espacotemporal das queimadas detectadas via satélite e a eficiência dos alertas de previsão de queimadas gerados pelo cálculo do risco de fogo, considerando a variabilidade dos fenômenos meteorológicos que podem influenciar o regime pluviométrico e alterar a ocorrência de focos de queimada na região da Amazônia oriental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O município de Paragominas, fundado por meio da Lei estadual nº 3.235, em 4 de janeiro de 1965, situa-se às margens da rodovia Belém-Brasília (BR-010), a 320 quilômetros da

cidade de Belém, possui área de 1,93 milhões de hectares (1,5% da área do Pará) e abriga uma população de quase 104 mil habitantes (IBGE, 2013) (Figura 1A). Apresenta cli-

ma quente e úmido, com temperatura média do ar diária de 26°C, pluviosidade média anual de 1.800 mm e umidade relativa média do ar de 81%. O município é caracterizado por apresentar um período mais chuvoso entre os meses de dezembro a maio e outro mais seco entre junho e novembro (INMET, 2013). Originalmente, Paragominas era coberta por floresta tropical, a qual sofreu mudanças ao longo das últimas cinco décadas, e, no ano de 2008, em torno de 45% da sua área total, o equivalente a 874 mil hectares (BRASIL, 2009), estava completamente desmatada ou altamente degradada pela atividade humana. O restante (55%)

do território permanecia coberto por florestas em diversos estágios de uso e conservação (SANTOS *et al.*, 2017).

As principais atividades econômicas do município são pecuária, madeira, produção de carvão, agricultura de pequena, média e grande escala e mineração de bauxita, que, em conjunto, movimentam os setores da indústria e de serviços, tornando-os as principais fontes do produto interno bruto (PIB) e de empregos de Paragominas. Em 2006, a cidade atingiu o 11º maior PIB do Pará, com produção de R\$ 575 milhões a preço de mercado corrente (SANTOS *et al.*, 2017).

MATERIAIS

Precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa pertencem ao banco de dados Merge Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), e são gerados e disponibilizados operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)/INPE, mesclando informações de precipitação e realizando correções no volume pluviométrico. Para isso, é utilizada a estimativa de precipitação do TRMM e do Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) (HUFFMAN *et al.*, 2007), além da precipitação observada por estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Mais detalhes da metodologia podem ser observados em Rozante *et al.* (2010). Os dados do Merge TRMM são produzidos continuamente pelo CPTEC, com atualizações diárias, e disponibilizados no endereço: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE>, com dados de janeiro do ano de 1998 até os dias atuais. O Merge está disponível em formato binário, possui resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0.25° (~ 27 km), com saídas diárias (acumulado em 24 horas) cobrindo toda a América do Sul (82.8°W–34°W e 52.2°S–12.2°N).

Temperatura do ar e umidade relativa

As informações de temperatura do ar e umidade relativa foram obtidas por meio do banco de dados ERA-Interim, que pertence ao European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), e disponibilizadas

rim, que pertence ao European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), e disponibilizadas

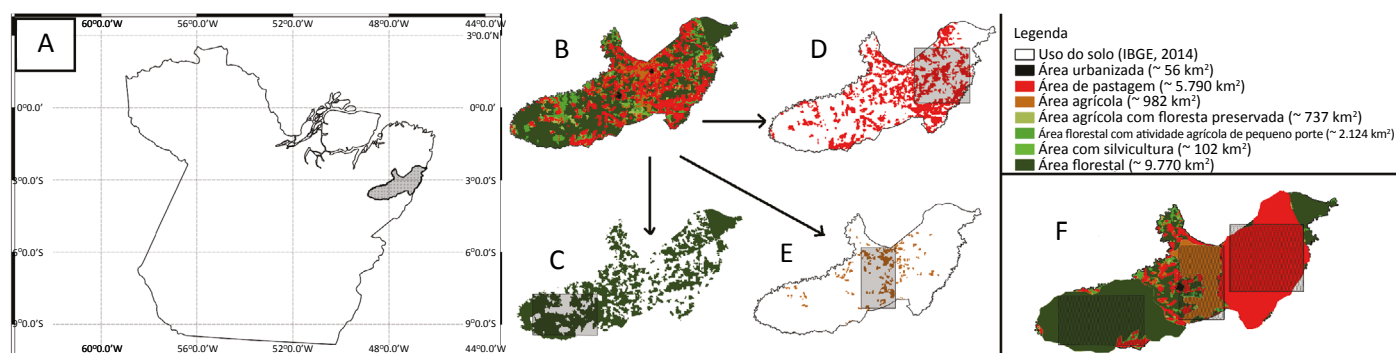


Figura 1 – (A) Localização do município de Paragominas, no estado do Pará (Amazônia oriental); (B) classificação realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) da cobertura e uso do solo até o ano de 2014; (C) extração das áreas com predominância de floresta ombrófila; (D) extração das áreas com predominância de culturas agrícolas; (E) extração das áreas com predominância de pastagem; (F) área de estudo ajustada para a pesquisa, em que as zonas com hachuras indicam os locais onde os cálculos foram realizados.

no endereço: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc>, cujo conjunto de dados é produzido por um sistema de assimilação consistente que inclui uma série de observações diárias distribuídas em todo o mundo mediante o sensoriamento por satélite, *in situ*, radiossondas, perfiladores etc. Tais dados abrangem o período de janeiro de 1979 até o presente, e os detalhes encontram-se em Dee *et al.* (2011). Os dados disponibilizados fornecem estimativas de diversas

Uso do solo

Os dados de uso e cobertura do solo da cidade de Paragominas foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual gerencia um projeto sobre formas de uso do solo que tem o objetivo de monitorar as alterações da cobertura vegetal do Brasil a cada dois anos. O último levantamento, publicado em 2016, mostra as variações ocorridas entre 2012 e 2014. Nesse período, 4,6% do território brasileiro sofreu algum tipo de alteração. Essa taxa de mudança é maior que a observada no período anterior (2010–2012), que foi de 3,5%. Parte dessa diferença deve-se à atualização motivada pela disponibilização de novos insumos, como os mapeamen-

Focos de calor: queimadas

Os focos de calor utilizados aqui compreendem o período de 1º de janeiro de 1999 a 31 de dezembro de 2016 e foram obtidos no banco de dados de queimadas do INPE (2016). Esses focos foram detectados por intermédio de métodos operacionais desenvolvidos pelo INPE que utilizam imagens de satélites meteorológicos de órbita polar da série National Oceanic

variáveis meteorológicas, como: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, vento, entre outros. A resolução espacial desses dados é variável, e é possível escolher entre baixa e alta resolução. As resoluções disponibilizadas pelo ERA-Interim são: 3° (~ 333 km), 2,5° (~ 277 km), 2° (~ 222 km), 1,5° (~ 166 km), 1° (~ 111 km), 0,5° (~ 55 km), 0,4° (~ 44 km), 0,25° (~ 27 km) e 0,12° (~ 13 km).

tos estaduais de vegetação e de uso da terra publicados pelo IBGE e as imagens de satélite LANDSAT 8, cujo comissionamento ocorreu em 2013. Entretanto a maior parte dessa diferença está diretamente relacionada às alterações nas formas de cobertura e uso da terra (IBGE, 2016).

Assim, foram utilizadas neste estudo as definições de uso e cobertura do solo definidas pelo relatório *Mudanças na cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014*, publicado pelo IBGE no ano de 2016 e disponibilizado em seu endereço: http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais.

Atmospheric Administration (NOAA) e Earth Observing System (EOS) (Terra/Aqua — Sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer — MODIS) e dos satélites em órbita geoestacionária Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) e METEOSAT. Mais detalhes sobre esse banco de dados em Anderson *et al.* (2005; 2017).

MÉTODOS

Ajuste da área de estudo para análise do risco de fogo

As características de cobertura e uso do solo do município de Paragominas foram descritas pelo IBGE em sua análise mais atual, publicada em 2016, compreendendo as alterações ocorridas entre os anos de 2012 e 2014, conforme ilustração da Figura 1B. Nota-se que o município possui grande fragmentação em relação a cobertura e uso do solo, porém, como a classificação do tipo de cobertura de solo utilizada pelo INPE abrange somente três categorias, foi reali-

zada uma subclassificação da área de estudo baseada na metodologia proposta por Rocha *et al.* (2007), que seleciona o tipo de uso e cobertura do solo predominante por *pixel* e, assim, a adapta ao objetivo desta pesquisa.

Para realizar os ajustes, foi necessária a extração dos tipos de cobertura do solo que foram alvo dessa análise. Assim, na Figura 1C, tem-se o destaque das áreas de floresta; na Figura 1D, das áreas de agricultura; e na

Figura 1E, das áreas de pastagem. Após essa extração, foi selecionada a subárea que apresenta respectivamente maior predominância, resultando na Figura 1F, que representa a adaptação da cobertura e uso do solo de Paragominas, apontando as áreas com predominância de floresta, agricultura e pastagem. As áreas com hachuras indicam o local onde foi realizado o cálculo

Cálculo do risco de fogo

O cálculo do RF adotado nesta pesquisa foi desenvolvido pelo INPE, e podem ser encontrados mais detalhes em Setzer *et al.* (2017). O RF é calculado com base em dados meteorológicos de precipitação, umidade relativa e temperatura do ar. A sequência do cálculo possui a seguinte ordem:

1. fator de precipitação (FP) (equações subsequentes), seguindo para o cálculo do número de dias secos (Equação 1),
2. cálculo do risco básico (Rb) (Equação 2);
3. Ajuste da umidade relativa (Equação 3);
4. Ajuste da temperatura do ar (Equação 4);
5. cálculo do risco de fogo observado (RF) (Equação 5).

Têm-se as principais equações atualizadas:

$$fp1 = e^{-0.14 \times prec1}$$

$$fp2 = e^{-0.07 \times (prec2 - prec1)}$$

$$fp3 = e^{-0.04 \times (prec3 - prec2)}$$

$$fp4 = e^{-0.03 \times (prec4 - prec3)}$$

$$fp5 = e^{-0.02 \times (prec5 - prec4)}$$

$$fp6a10 = e^{-0.01 \times (prec10 - prec5)}$$

$$fp11a15 = e^{-0.008 \times (prec15 - prec10)}$$

$$fp16a30 = e^{-0.004 \times (prec30 - prec16)}$$

$$f31a60 = e^{-0.002 \times (prec60 - prec30)}$$

$$fp61a90 = e^{-0.0001 \times (prec90 - prec60)}$$

$$fp91a120 = e^{-0.0007 \times (prec120 - prec90)}$$

Em que:

fp “n” = o acumulado de precipitação normalizada a partir dos 120 dias que antecedem a data de análise. Assim, fp1 é o acumulado do dia anterior à data de estudo, fp2 é o acumulado do penúltimo dia em relação à data de estudo, e assim por diante, até o fp91a120, que consiste no acumulado ocorrido 120 dias antes da data de estudo.

$$FP = 105 \times fp1 \times fp2 \times fp3 \times fp4 \times fp5 \times fp6a10 \times fp11a15 \times fp16a30 \times fp31a60 \times fp61a90 \times fp91a120 \quad (1)$$

da média da área para os parâmetros (usando o *software* GRADS), delimitando as áreas de acordo com as zonas das hachuras (Figura 1F) e calculando a média da área do total diário de precipitação, da variação diária da umidade relativa e da temperatura do ar, números necessários para o cálculo do RF sobre cada uma das três categorias de uso e cobertura do solo.

$$Rb_{-(n=,17)} = \quad (2)$$

$$UR = [UR \times (-0.006)] + 1,3 \quad (3)$$

$$Ta = (T_{max} \times 0,02) + 0,4 \quad (4)$$

$$RF = Rb \times UR \times Ta \quad (5)$$

Em que:

FP = usado para calcular o número de dias secos ocorridos antes da data de análise, considerando os últimos 120 dias;

Rb = ajusta a quantidade de dias secos com o objetivo de estimar o grau de umidade presente no tipo de uso e cobertura do solo da área de estudo;

A constante “A_n=(1,7)” = o tipo de uso e cobertura do solo e pode assumir os seguintes valores, definidos pelo INPE:

- 1.5 (ombrófila densa; alagados);
- 1.7 (floresta decídua e sazonal);
- 2.0 (floresta de contato; campinarana);,
- 2.4 (savana arbórea; caatinga fechada);
- 3.0 (savana; caatinga aberta);
- 4.0 (agricultura);
- 6.0 (pastagem; gramíneas).

Ur = ajusta de forma linear a umidade relativa sobre a área de estudo;

Ta = ajusta de forma linear a temperatura do ar sobre a área de estudo;

RF = o índice de fogo calculado com base no resultado obtido pela multiplicação de todos os índices anteriores.

A escala de risco é definida pelo INPE, em que:

- mínimo (RF < 0,15);
- baixo (0,15 < RF ≤ 0,40);
- médio (0,40 < RF ≤ 0,70);
- alto (0,70 < RF ≤ 0,95);
- crítico (RF > 0,95).

Análise dos focos de queimadas

Para realizar a análise dos focos de queimada, foram selecionados cinco anos normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), cinco anos de La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e cinco anos de El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016). Essa seleção dos anos sob influência de cada mecanismo oceano-atmosfera foi baseada nas anomalias de TSM definidas pelo Multivariate ENSO Index (MEI) (WOLTER & TIMLIN, 2011).

Risco de fogo e focos de queimada

A análise do cálculo do RF em detectar queimadas utilizou ferramentas SIG para gerar uma classificação com o número total de queimadas ocorrido conforme o tipo de alerta de RF para cada tipo de uso e cobertura do solo. Em seguida, foi verificado o tipo de alerta de

Em seguida, utilizando ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG), os focos de queimada foram organizados por tipo de superfície — agricultura, pastagem e floresta —, de acordo com a classificação proposta na área de estudo (Figura 1F).

Foi calculada a média do acréscimo/decrécimo do número de focos de queimada em anos de El Niño e La Niña em relação aos anos normais.

RF mais recorrente em relação ao número de focos de queimada observado, para avaliar a eficiência de detecção de tais focos. Todas as análises consideraram os períodos de anos normais, de La Niña e de El Niño definidos no item anterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da distribuição anual da quantidade de focos de queimada em relação aos tipos de uso e cobertura do solo (Tabela 1), notou-se que as áreas de pastagem apresentam predominância sobre o número de focos de queimada detectados. Essa característica pode estar relacionada à concentração de biomassa disponível para servir de combustível para queima. White *et al.* (2014) afirmam que, em razão da baixa quantidade de material combustível nos campos cobertos por gramas, os incêndios nessas áreas geralmente são de pequeno porte, com queima rápida de todo o material combustível. Quando comparados tais campos com outras vegetações, essa condição favorece os processos de queima sobre esse tipo de cobertura vegetal.

Outra característica importante que contribui para as altas taxas de queimada sobre áreas de pastagem é a variabilidade climática. Segundo Reyes (2017), por causa da baixa densidade de biomassa das pastagens, a concentração de umidade altera-se mais rapidamente em relação a outras formas de vegetação mais densas, tornando a pastagem mais sensível às variações meteorológicas, condição que pode ser observada na Tabela 1, na qual se verifica que, tanto em anos normais quanto em anos sob a influência dos mecanismos El Niño e La Niña, a maior concentração de queimadas ocorre na área de pastagem. Em 17 anos de observações, 47,3% das queimadas registradas no município de Paragominas ocorreram em áreas de pastagem.

Tabela 1 – Total de focos de queimada observados no período de 15 anos, envolvendo anos normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), de La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011), e de El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016), classificados por tipo de uso e cobertura do solo.

	Pastagem	Agricultura	Floresta
Normal	602	393	254
La Niña	627	430	272
El Niño	721	530	294
Total	1.950	1.353	820
%	47,3	32,8	19,9

As áreas com predominância da agricultura apresentaram a segunda maior concentração dos focos de queimada, condição associada à prática da coivara (MISTRY & BIZERRIL, 2011), que consiste na roçagem e queima da biomassa na preparação do solo para o plantio. O número inferior de focos observados nessa forma de uso do solo está em consonância com o mesmo princípio analisado na área de pastagem. Como a concentração de biomassa é maior em áreas de agricultura, por conservar áreas com vegetação mais densa, a concentração de umidade é maior e conseqüentemente necessita de mais tempo para que a área resseque a ponto de queima. Esse fator pode ser constatado no estudo conduzido por Souza (2015), que averiguou a suscetibilidade à combustão de diferentes tipos de vegetais. Assim, a concentração do número de focos de queima sobre áreas de agricultura concentrou 32,8% do total apontado para o município de Paragominas em 17 anos.

Seguindo o padrão ambiental das demais formas de uso e cobertura da terra, a área com predominância de floresta foi a que indicou a menor densidade de focos de queimada, concentrando 19,9% do total de focos observados. Segundo Araújo *et al.* (2013), em razão da alta umidade retida pelos vegetais e ambiente, sobretudo no solo e entorno (raízes, resíduos vegetais e lúter), pode-se afirmar que o ecossistema florestal amazônico é dotado de imunidade natural contra queimadas. Todavia, quando exposto a condições climáticas anormais, é verificado que esse ecossistema não possui defesas e se torna vulnerável ao fogo. Ainda de acordo com os resultados de Araújo *et al.* (2013), florestas primárias tendem a ser mais resistentes à propagação de queimadas do que florestas secundárias ou formações vegetais mais recentes. Assim, o número reduzido de focos de queimada sobre a área de floresta em Paragominas (Tabela 1) pode estar relacionado à conservação da floresta primária local.

Viu-se também na Tabela 1 que o número de focos de queimada ocorridos em anos anômalos (El Niño e La Niña) é superior aos de anos normais. Essa característica será abordada adiante com mais detalhes.

Observando a Figura 2, nota-se que a variabilidade dos focos de queimada, quando comparados de forma semestral, exhibe uma dinâmica diretamente ligada à variação climática no primeiro semestre, sendo o segundo semestre uma consequência do quadro apre-

sentado no início de cada ano. A relação entre primeiro e segundo semestres é inversamente proporcional para todas as formas de uso e cobertura do solo analisado, independentemente do fenômeno meteorológico predominante.

Em anos com ocorrência do fenômeno La Niña, pela predominância de mais dias de precipitação acima do normal durante o primeiro semestre (DE SOUZA *et al.*, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2013), a tendência é a redução do número de focos de queimada em função da grande concentração de umidade sobre o solo (SOUZA, 2015), ao passo que no segundo semestre, quando a influência dos mecanismos El Niño/La Niña deixa de ser significativa (ARAÚJO *et al.*, 2013), se aponta a elevação do número de focos de queimada.

Em anos de El Niño, o comportamento é contrário. No primeiro semestre predominam altas taxas de queimada, por conta da redução dos dias de precipitação decorrente desse fenômeno (DE SOUZA *et al.*, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2013). Já no segundo semestre é observada redução do número de focos de queimada, ficando abaixo da quantidade de focos verificados em anos de La Niña.

Essa característica pode estar ligada à dinâmica de manejo do solo, pois, como descrito por Schroeder *et al.* (2009), as florestas primárias e/ou vegetação secundária são cortadas nos primeiros meses da estação seca e a biomassa derrubada é deixada para secar sob o sol por dois ou três meses, dependendo do volume da biomassa. Em seguida, o fogo é utilizado como um método de baixo custo que propicia a transformação rápida da matéria orgânica seca em fertilizante. Assim, a dependência da concentração de umidade na vegetação a ser queimada passa a ser o fator limitador para os produtores, condição que eleva a relação entre o número de focos de queimada e os fenômenos El Niño e/ou La Niña. Em anos de El Niño, quando o volume pluviométrico fica abaixo do normal, a taxa de umidade sobre o ambiente a ser queimado é menor e os focos de queimada tendem a aumentar.

Em anos de La Niña, com maior índice de pluviosidade, a taxa de umidade eleva-se acima do normal, inibindo o ambiente de sofrer queimadas e reduzindo o número de focos observados. No entanto, a partir do segundo semestre, seja em anos de La Niña, seja em anos de El Niño, a configuração do número de queimadas passa

a ser modulada somente pela atividade antrópica (PRADO & COELHO, 2017), o que explica a taxa de elevação em anos de La Niña aos anos de El Niño, pois, como não foi possível queimar o material orgânico no primeiro semestre, em anos de La Niña as áreas que deveriam ter sido queimadas no primeiro semestre passam a ser queimadas no segundo, juntamente com as demais áreas, o que ocasiona a elevação do número de focos.

Em anos de El Niño, como é possível elevar a quantidade de áreas a serem queimadas, no segundo semestre se queima apenas o remanescente do território, condi-

ção que leva à aparente redução do número de focos de queimada na segunda metade dos anos mais secos.

As características descritas podem ser mais bem compreendidas ao observar a Figura 3, com os anos de El Niño apresentando acréscimo de ocorrência de focos, em relação aos anos normais durante os dois semestres, indicando a distribuição proporcional do número de queimadas ao longo do ano.

Percebe-se que a área de pastagem é a que sofre a menor elevação do número de focos durante o primeiro

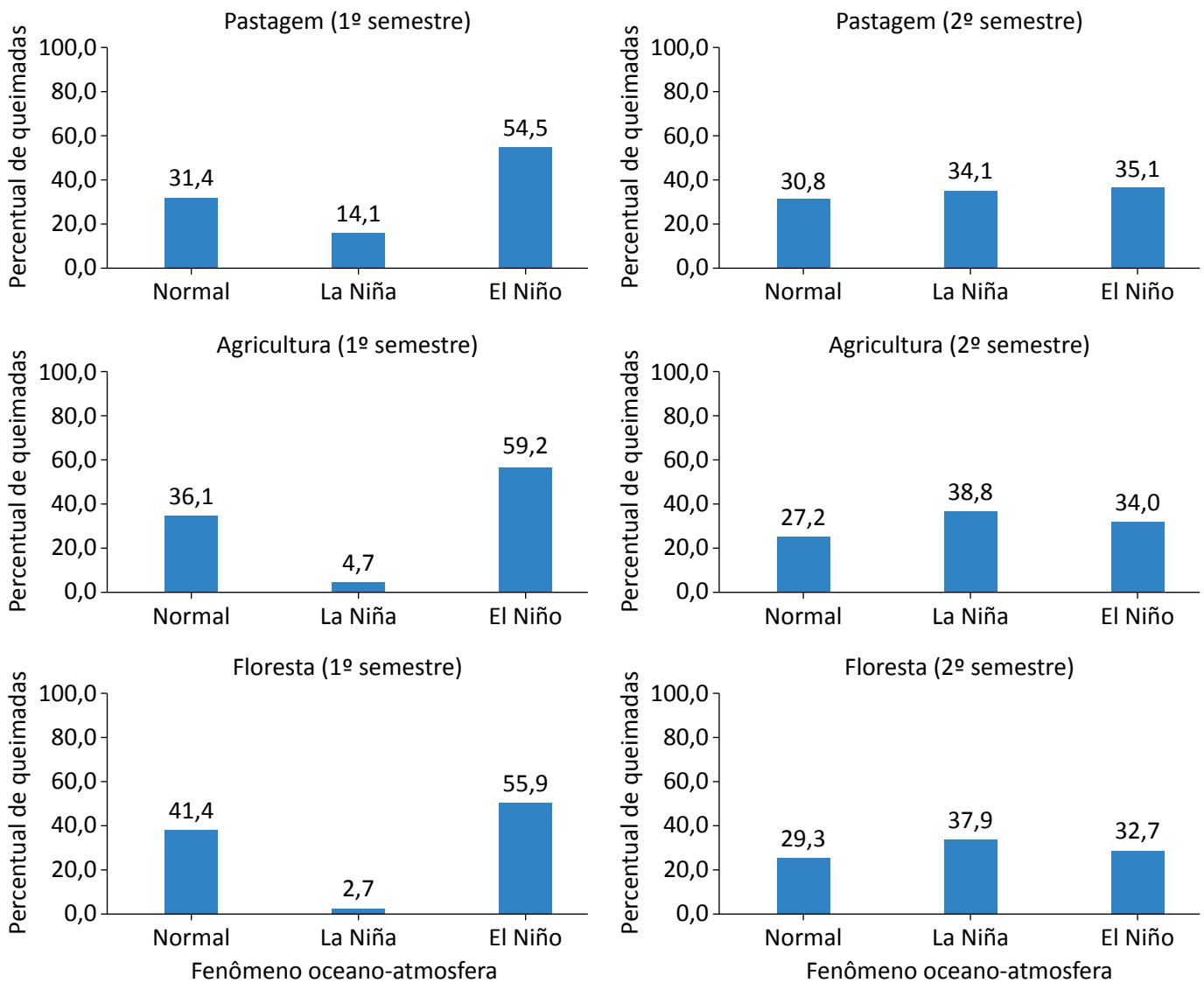


Figura 2 – Percentual de focos de queimada semestrais considerando o tipo de uso e cobertura do solo em anos normais, anos de La Niña e anos de El Niño.

semestre, e as áreas agricultáveis e de florestas são as que apresentam a maior concentração de queimadas no primeiro semestre durante os anos de El Niño. A partir do segundo semestre, a área de pastagem concentra o maior número de queimadas, seguida da área de agricultura. Em anos de La Niña, percebe-se que a anomalia de focos de queimada é negativa durante todo o primeiro semestre, elevando-se significativamente no segundo semestre, principalmente sobre as áreas agricultáveis, em concordância com as análises anteriores.

Uma importante alteração observada ocorre na área de floresta: tanto em anos de El Niño como nos anos de La Niña, a ocorrência de queimadas parece estar sendo influenciada pela atividade humana das áreas agricultáveis, uma vez que, quando há o aumento do número de queimadas sobre a área de agricultura, se tem também aumento sobre a área de floresta, o que não se vê quando o número de focos sobre a área de pastagem sofre variação. Essa característica pode estar relacionada ao efeito de borda, o qual foi analisado por Costa (2012). O autor constatou que áreas florestais que sofrem cortes seletivos, fragmentando a vegetação, acabam por criar áreas com grande concentração de serapilheira, funcionando como combustível no momento de uma queimada e podendo atingir áreas acima de 100 metros adentro da floresta.

A fragmentação florestal é um dos fenômenos mais marcantes e graves do processo de expansão da fronteira agrícola no Brasil, provocando o isolamento de trechos de floresta de diferentes tamanhos em meio a áreas perturbadas, ficando a periferia do fragmento mais exposta à insolação e à modificação do regime dos ventos. Essas mudanças provocadas pelos limites artificiais da floresta são chamadas efeito de borda e têm enorme impacto

sobre os organismos que vivem nesses ambientes fragmentados (VIANA *et al.*, 1992; MURCIA, 1995; ALVES JÚNIOR *et al.*, 2006; COSTA, 2012). Assim, na área onde predomina a agricultura, fragmentos florestais estão amplamente presentes, favorecendo o efeito de borda (VIANA *et al.*, 1992; COSTA, 2012), o que pode estar relacionado à anomalia de queimadas positiva mais elevada no primeiro semestre e à significativa redução no segundo, pois a área da floresta sob efeito de borda já foi reduzida pelas queimadas do primeiro semestre, diminuindo a área passível do mesmo efeito no decorrer do ano.

Em conformidade com essa condição, observa-se que no segundo semestre do ano de La Niña a anomalia de focos de queima sobre a área de floresta é superior à ocorrida em anos de El Niño, concordando com as análises apresentadas, pois, com o significativo aumento do número de focos em áreas agrícolas, o efeito de borda sobre os fragmentos de florestas será maior, bem como, conseqüentemente, o número de queimadas na área de floresta.

Esses resultados apontam que o segundo semestre dos anos de La Niña precisa de mais atenção por parte dos órgãos fiscalizadores, porque, diferentemente de anos normais e de El Niño, que apresentam distribuição das queimadas ao longo do ano, em anos de La Niña o que se observa são as limitações naturais do primeiro semestre, alta concentração de focos de queimada somente nesse período do ano, levando a números superiores ao mesmo período dos anos menos úmidos, o que pode vir a contribuir para a ocorrência de incêndios florestais.

O resultado obtido pelo cálculo do RF semestral, considerando os tipos de uso e cobertura do solo e mecanismo oceano-atmosfera atuante (Figura 4A), mostra que

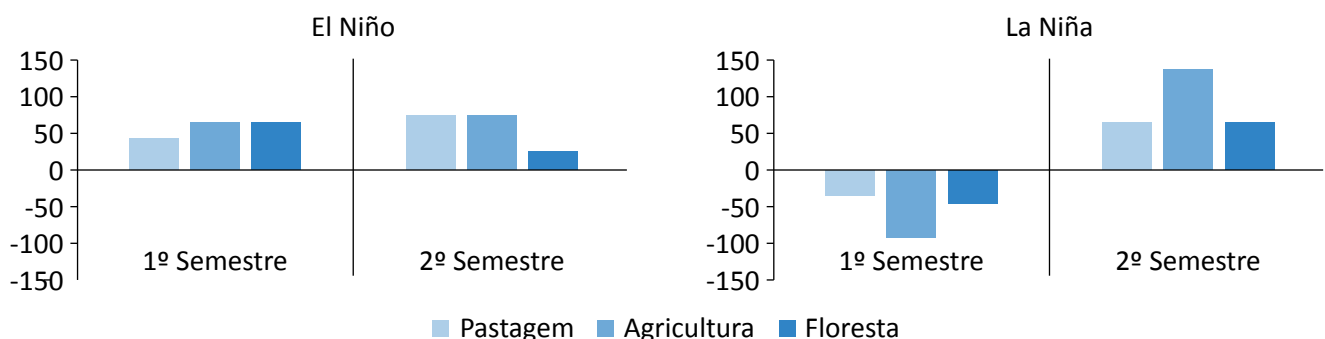


Figura 3 – Anomalia de focos de queimada considerando a diferença entre anos com ocorrência de El Niño/La Niña e anos normais.

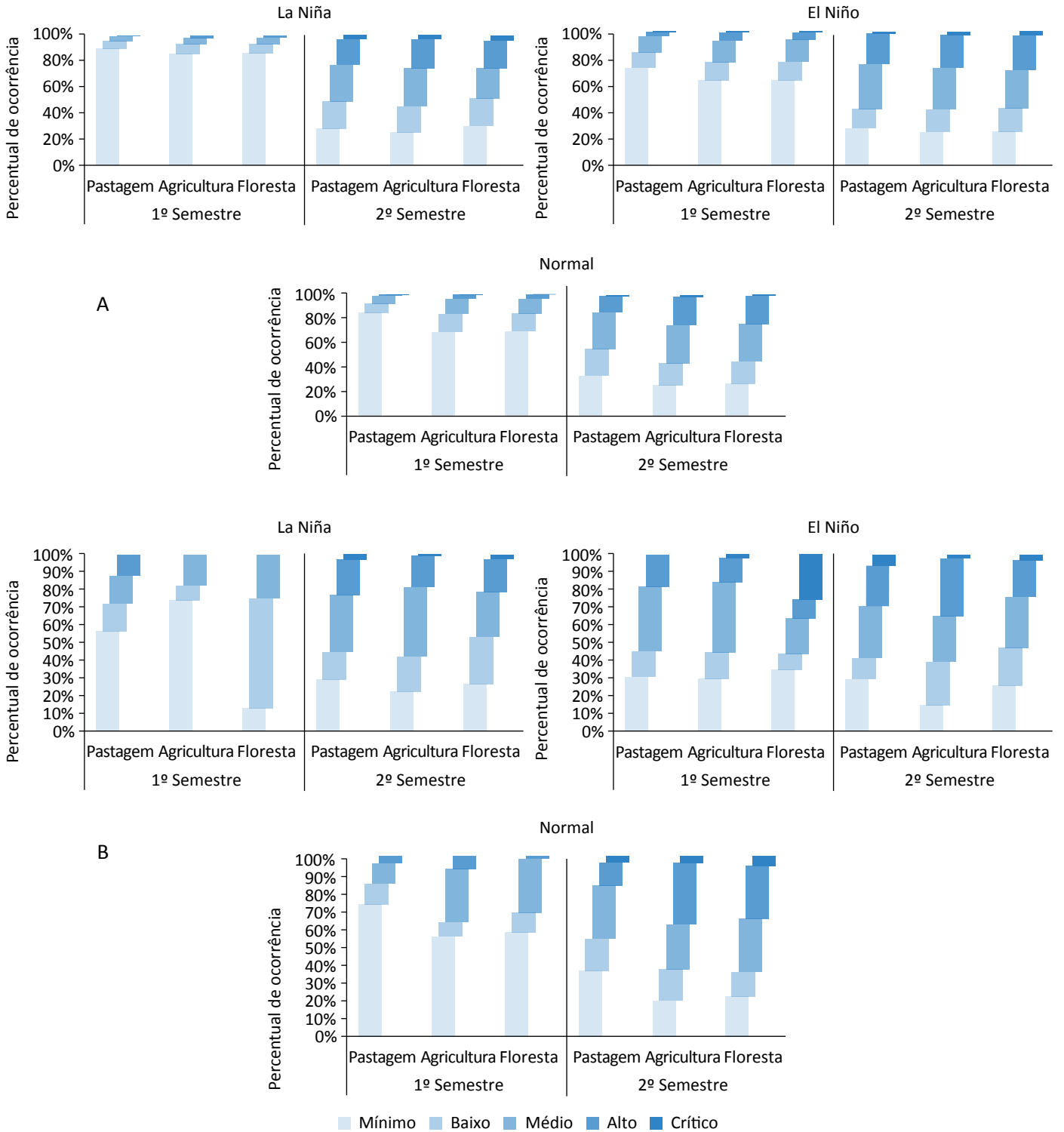


Figura 4 (A) Percentual de ocorrência dos tipos de alerta de risco de fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo analisado, de forma semestral, em relação ao mecanismo oceano-atmosfera predominante; (B) percentual de ocorrência de focos de queimada por tipo de alerta de risco de fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo, em relação ao mecanismo meteorológico predominante.

no primeiro semestre, tanto nos anos normais como nos anos anômalos, há a predominância do alerta mínimo, indicando que, por conta do período chuvoso, a taxa de umidade permanece elevada nesse período. Nota-se também que em anos sob influência do El Niño o número de alertas mínimo apresenta redução e os outros alertas passam a ter mais representatividade, concordando com os resultados exibidos, que mostram anomalias positivas de focos de queimada em anos de El Niño. No segundo semestre, o percentual de alertas observado praticamente não se altera entre os anos normais e anos de El Niño ou La Niña.

Tais condições ocorrem porque o cálculo do RF mede o grau de suscetibilidade do ambiente em sofrer combustão, seja ela natural, seja antrópica, no entanto viu-se que, como esse índice foi concebido para seguir a variabilidade pluviométrica diária, condicionando a concentração de umidade como fator limitante para a ocorrência de queimadas, existe tendência a captar principalmente a condição natural para a ocorrência do fogo sem, contudo, ser suficiente para antecipar uma queimada atribuída à atividade humana, como será analisado na Figura 4B.

Analisando a precisão do cálculo de RF em relação ao número de focos detectados (Figura 4B), observou-se que o tipo de risco não representa diretamente o número de ocorrência de queimadas. Nota-se que, em anos normais, a maior parte das queimadas ocorridas no primeiro semestre se deu quando o alerta era mínimo para todos os tipos de uso e cobertura do solo analisados.

Em anos com a ocorrência de La Niña, o padrão observado em anos normais se repete, com exceção apenas para áreas de floresta, em que o alerta de maior

ocorrência de focos de queimada passa a ser o médio. Para anos sob a influência do El Niño, o padrão de focos por alertas foi semelhante, tanto entre os semestres quanto em relação às formas de uso e cobertura do solo, o qual evidencia que o tipo de alerta identificado não permite afirmar se, de fato, ocorrerá ou não queimada sobre a região de interesse.

Como já descrito anteriormente, o cálculo do RF indica o grau de suscetibilidade quando o ambiente sofre queimadas, no entanto não prevê a atividade humana. Assim, percebe-se nessa análise que, por causa dos altos níveis de umidade e chuva que caracterizam a região amazônica e que normalmente previnem a ocorrência de fogo natural (GOLDAMMER, 1990; RAY *et al.*, 2005; UHL & KAUFMANN, 1990), isso leva o RF a detectar a possibilidade de ocorrência de um evento principalmente por ações antrópicas e não naturais.

Segundo Sorrensen (2004), o processo de queimadas na Amazônia inicia-se tipicamente por meio do corte da floresta ou vegetação predominante nos primeiros meses da estação seca. A biomassa derrubada é deixada para secar sob o sol por dois ou três meses, dependendo do volume da biomassa, conteúdo inicial de umidade e condições do tempo.

Esse método é utilizado no processo de desmatamento por pequenos fazendeiros de subsistência, na agricultura mecanizada de grande escala e por criadores de gado, similarmente. O mesmo processo é usado para converter tanto florestas jovens quanto florestas em estágio avançado de sucessão, conhecidas localmente como capoeiras, no processo de rotação de cultivo usado por proprietários rurais na Amazônia brasileira (SORRENSEN, 2004).

CONCLUSÕES

O cálculo da distribuição semestral dos focos de queimada em função dos mecanismos oceano-atmosfera mostrou que estes contribuem com o número total de queimadas anuais, levando a mudanças na frequência com que os focos de queimada são observados.

Em anos de La Niña, o segundo semestre apresenta intensa ocorrência de queimadas, com índices superiores ao mesmo período em anos de El Niño, sobretudo nas áreas predominantemente agrícolas, evidenciando a ligação direta da atividade humana com a frequên-

cia dos focos de queimada. Esse fator, não considerado nas equações de risco, acaba por reduzir a precisão do cálculo do risco de fogo.

Na região amazônica, especificamente para o município de Paragominas, como os focos de queimada possuem origem onde predomina a atividade humana, o cálculo do RF realizado atualmente deve ser limitado como somente um indicativo ambiental, e não como alerta ou previsão.

REFERÊNCIAS

- ALVES JUNIOR, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. S.; ROCHA, K. D.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C. Efeito de borda na estrutura de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila densa, Recife, PE. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 1, n. 1, p. 49-56, 2006.
- ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Detecção de Cicatrizes de Áreas Queimadas Baseada no Modelo Linear de Mistura Espectral e Imagens índice de Vegetação Utilizando Dados Multitemporais do Sensor MODIS/TERRA no Estado do Mato Grosso, Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, v. 35, p. 445-456, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000400009>
- ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERE, L.; DUARTE, B.; SALAZAR, N.; LIMA, A.; DUARTE, V.; ARAI, E. Development of a Point-based method for Map Validation and Confidence Interval Estimation: A case study of Burned Areas in Amazonia. *Journal of Remote Sensing and GIS*, v. 6, n. 193, p. 1-9, 2017. <http://dx.doi.org/10.4172/2469-4134.1000193>
- ARAÚJO, R.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A. C.; KAYANO, M.; SOUZA, R. A influência do ENOS e Atlântico Equatorial na precipitação sobre a região norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica*, v. 43, n. 4, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Projeto de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia*. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 25 jun. 2017.
- CAPISTRANO, V. B. *Precipitação na América do Sul associada às variabilidades de baixa frequência na TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico*. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- CARNEIRO, M. S.; ASSIS, W. S. O controle do desmatamento na Amazônia como um processo de modernização ecológica: a experiência do Projeto Município Verde. *Repocs*, v. 12, n. 24, 2015. <http://dx.doi.org/10.18764/2236-9473.v12n24p53-76>
- COSTA, C. D. F. *Vulnerabilidade ao fogo de florestas intactas e degradadas na região de Sanatém – Pará*. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- COSTA, J. A. C. *Variabilidade decenal dos tipos de ENOS e sua associação com modos de variabilidade climática de baixa frequência*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2017.
- DE ABREU SÁ, T. D.; KATO, O. R.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O. Queimar ou não queimar? De Como Produzir na Amazônia Sem Queimar. *Revista USP*, São Paulo, n. 72, p. 90-97, 2006-2007.
- DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HÓLM, E. V.; ISAKSEN, I.; KALLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J. J.; PARK, B. K.; PEUBEY, C.; DE ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J. N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 137, p. 553-597, 2011. <http://dx.doi.org/10.1002/Qj.828>
- DE SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000200001>
- GOLDAMMER, J. G. *Fire in tropical biota: Ecosystem processes and global challenges*. Berlim/Heidelberg/Nova York: Springer-Verlag, 1990. 497 p.

GONÇALVES, J. S. *A Prática da Queimada no Saber Tradicional e na Concepção Científica de Risco: Estudo Sobre o Uso do Fogo por Pequenos Produtores Rurais do Norte do Estado de Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 13, p. 35-58, 2000. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013%3C0035:CVISA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013%3C0035:CVISA%3E2.0.CO;2)

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 11, p. 2863-2880, 1998. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011%3C2863:PA SBA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011%3C2863:PA SBA%3E2.0.CO;2)

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa de informações ambientais / uso e cobertura do solo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99649.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

_____. *Pesquisa de informações básicas municipais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades>>. Acesso em: 1º set. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Portal*. 2013. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por Que é Importante Entender as Inter-Relações entre Pessoas, Fogo e Áreas Protegidas? *Biodiversidade Brasileira*, n. 2, p. 40-49, 2011.

MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; OLIVEIRA, J. V. Sensoriamento Remoto como Ferramenta para a Determinação da Estação Chuvosa na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 5, 2015.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 61-66, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000100008>

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, Oxford, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)

PRADO, N. V.; COELHO, S. M. S. C. Estudo da Variabilidade Temporal da Profundidade Óptica do Aerossol Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto Sobre a Região de Transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 649-658, dez. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324012>

RAY, D.; NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. *Ecological Applications*, v. 15, n. 5, p. 1664-1678, 2005. <https://doi.org/10.1890/05-0404>

REYES, R. R. *Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e cerrado submetidas a queimadas controladas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.

ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ESTANQUEIRO, R.; SOUSA, P. M. Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*, v. 42, n. 83, p. 47-62, 2007. <https://doi.org/10.18055/Finis1438>

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010. <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

SANTOS, M. E.; SANTOS, F. A. A.; GOMES, M. V. C. N.; SANTOS, V. C.; NEVES, R. R. Análise espacial das ações do programa “municípios verdes”: Estudo de caso no município de Paragominas- PA. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, Pombal, v. 11, n. 1, p. 21-35, 2017.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. The spatial distribution and interannual variability of fire in Amazonia. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Orgs.). *Amazonia And Global Change*. Section I: People and Land. LBA, 2009. p. 43-60.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; MARTINS, G. *Metodologia do Cálculo do Risco de Fogo do Programa Queimadas do Inpe - Versão 10*. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PNK9TH>>. Acesso em: 21 out. 2017.

SODRÉ, G. R. C.; MORAES, B. C.; FERREIRA, D. B. S.; VENTURA, J. O.; SOUZA, E. B. Teleconexões Oceânicas Nos Padrões Climatológicos Da Amazônia Oriental: Análises Dos Últimos 40 Anos (1974-2103). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.38113>

SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change framework: Understanding landscape change in agricultural frontiers. *Human Ecology*, v. 32, n. 4, p. 395-420, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:HUEC.0000043513.47895.a8>

SOUZA, M. A. *Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology*, v. 71, n. 2, p. 437-449, 1990. <https://doi.org/10.2307/1940299>

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 4, parte 2, p. 400-406, 1992.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, v. 31, p. 1074-1087, 2011. <https://doi.org/10.1002/joc.2336>

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 24, p. 699-706, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-509820142403017>

