



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas no Brasil no Período de 2003 a 2018

Guilherme Martins¹, Ananda Santa Rosa², Alberto Setzer³, Willian Rosa⁴, Fabiano Morelli⁵, Arielle Bassanelli⁶

¹Meteorologista, ³Pesquisador, ⁴Analista de Sistemas, ⁵Tecnologista, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Programa Queimadas, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos/SP, 12227-010, guilherme.martins@inpe.br (autor correspondente), alberto.setzer@inpe.br, willian.rosa@inpe.br, fabiano.morelli@inpe.br. ²Doutoranda em Geografia, Universidade de Brasília, Departamento de Pós Graduação em Geografia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, GEA ICC Norte 900, Brasília/DF, ananda.andrade@aluno.unb.br. ⁶Mestranda Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Estadual de São Paulo, Campus São José dos Campos, Unidade Parque Tecnológico, Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, n° 1201, São Paulo/SP, bassanelli.arielle@gmail.com.

Artigo recebido em 05/12/2019 e aceito em 13/06/2020

RESUMO

No Brasil, as queimadas são caracterizadas por extensas linhas de fogo de rápida propagação, que causam a mortalidade de espécies da flora e da fauna. Para mitigar estes danos, políticas públicas foram implementadas e, para seu correto funcionamento, é necessário compreender a variabilidade do fogo e os elementos que o afetam para assim aperfeiçoar as estratégias de prevenção e combate. Neste sentido, este trabalho teve como escopo analisar a dinâmica das queimadas no Brasil, nos anos de 2003 a 2018, através da climatologia de precipitação e dos acumulados e das anomalias de focos de queima de vegetação detectados em imagens de satélites. Os resultados demonstraram que há três padrões espaciais de queimadas no Brasil, relacionados a dois sistemas de precipitação: a Zona de Convergência Intertropical e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Na maioria dos estados foi detectada tendência de redução de uso do fogo; em alguns, houve estabilização das taxas de detecção. As detecções ainda têm maior ocorrência na estiagem, quando tendem a contribuir significativamente para a degradação ambiental e para o dispêndio do orçamento público em operações de combate. Cabe aos entes federativos investirem em atividades de fiscalização, de monitoramento, de educação ambiental e de manejo preventivo para reduzir o uso do fogo no País.

Palavras-chave: Variabilidade das queimadas, climatologia de precipitação, políticas públicas, focos de queimada de vegetação.

Space-Time Dynamics of the Burns in Brazil in the Period 2003 to 2018

ABSTRACT

In Brazil, vegetation fires are characterized by extensive and rapidly spreading fire lines that cause the mortality of flora and fauna species. Public policies were implemented to mitigate these damages, and for their correct enforcement it is necessary to understand the variability of the fire regime and the elements that affect it to improve prevention and combat strategies. In this sense, this work aimed to analyze the dynamics of burning in Brazil from 2003 to 2018 through the accumulated number of active fires and their anomalies as detected in satellite images with the precipitation climatology. The results showed that there are three spatial burning patterns in Brazil that relate with two precipitation systems: the Intertropical Convergence Zone and the South Atlantic Convergence Zone. A tendency to reduce the use of the fire was detected in most states; some indicated a stabilization of detection rates. The detections are still more frequent in drought periods, when the fires tend to contribute significantly to environmental degradation and to public budget expenditure in combat operations. It is up to the federal and state governments to invest in activities of enforcement, monitoring, environmental education and preventive management to reduce the use of fire in the country.

Keywords: Variability of fire, climatology precipitation, public policies, active fire.

Introdução

O fogo é importante para a humanidade em razão da produção de energia durante o processo de combustão. Os primeiros registros são naturais, datados no período Proterozóico (há ~2,5 bilhões de anos), quando a quantidade de oxigênio na atmosfera se tornou suficiente para a ocorrência das queimadas (Bowman et al, 2009; Pyne, 2019). No período Siluriano (há ~443 milhões de anos), com o surgimento das plantas terrestres, são evidenciados os primeiros incêndios florestais (Glasspool et al., 2004). Estas primeiras queimas foram importantes para a configuração de alguns ecossistemas (Bowman et al, 2009; Dios, 2020).

Com o início do uso controlado do fogo pela espécie humana no período Paleogeno (Glikson, 2013) e consequente aumento populacional até os dias atuais, configurou-se a necessidade crescente para a produção de insumos que demanda de abertura e limpeza de áreas por meio de queimadas (Van Marle et al., 2017).

No Brasil, este tipo de uso do fogo é caracterizado por sua ocorrência na estação seca, período quando as queimadas são mais intensas e severas devido à quantidade de combustível orgânico seco (Gácita et al., 2017, Santos et al., 2018, de Sá et al., 2019). Como resposta, as linhas de fogo são mais extensas, a propagação é mais rápida, e é aumentada a vulnerabilidade dos ecossistemas e a mortalidade de espécies da flora e da fauna; estes danos são mais elevados em relação às queimadas registradas no período chuvoso e no período de transição entre a estação chuvosa para a estação seca (Silva Junior et al., 2019, Zhou et al., 2019, Machado-Silva et al., 2020).

Na atmosfera também resultam perturbações de alta preocupação socioambiental: emissão de materiais particulados e compostos químicos, liberação de particulados, alteração do balanço de radiação, variação no ciclo hidrológico e aumento da precipitação (Santos et al., 2018, Liu et al., 2019, Malavelle et al., 2019, Riley et al., 2019). Os gases-traço do efeito estufa e aerossóis liberados durante o processo de combustão, compostos essencialmente por materiais orgânicos oxidados, possuem propriedades físico-químicas que interagem com a radiação solar e ocasionam a absorção e espalhamento desta radiação (de Sá et al., 2019).

Para mitigar esses danos, políticas públicas foram implementadas para coibir queimadas ilegais na estação seca (Fonseca-Morello et al., 2017), como o Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento - PROARCO (Castelo et al., 2018), Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm

(Bizzo e Farias, 2017), o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado - PPCerrado (Harfuch e Moreira, 2012) e, a declaração de períodos proibitivos no Mato Grosso e no Tocantins, entre outros estados.

Análises históricas sobre mudanças no regime de fogo são necessárias para diagnosticar a situação atual do fogo e fundamentar novas medidas, normativas e programas que se relacionam com as atividades de combate e prevenção dos órgãos ambientais competentes.

Para isto, é necessário compreender a espacialização das queimas para elencar tipos de ações e prioridades, bem como minimizar o impacto no orçamento anual das instituições ambientais responsáveis, que é elevado em operações de combate (Santa Rosa et al., 2019).

Com este viés, o objetivo do artigo consiste em analisar a variabilidade espaço-temporal dos focos de queimadas de vegetação detectados em imagens de satélites para avaliar a dinâmica do fogo nos estados do Brasil, no período de 2003 a 2018.

Material e métodos

Climatologia de precipitação

O regime de precipitação no Brasil foi avaliado por uma normal climatológica de 1981 a 2010 dos dados do *CPC Merged Analysis of Precipitation*. O produto, de resolução horizontal de 2,5° lat. x 2,5° lon., mm mês⁻¹, tem longa série histórica de dados (de 1979 aos dias atuais) e disponibilidade global baseada em cinco tipos de estimativas por satélite (Xie et al., 1997; Wang et al., 2016). Informações adicionais podem ser obtidas em <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data/cmap.html>.

Análise das queimadas

A espacialização do fogo foi mensurada com focos de queimadas de vegetação (FQV), também conhecidos como focos de calor e focos ativos, do produto MYD14, coleção 6, detectados em imagens do satélite Aqua, sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Os FQV representam *pixels* com a ocorrência de fogo ativo durante a passagem do satélite e têm resolução espacial de 1 km (Giglio et al., 2016). Os focos foram obtidos no portal do Banco de Dados de Queimadas do INPE, <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas> no período de 2003 a 2018 e avaliados de duas formas: em relação aos totais de detecções e em relação aos acumulados em células de 25 km × 25 km. As informações foram analisadas para o Brasil em sua

totalidade e pelas unidades federativas que o compõem, por meio da normalização da série (y) e da anomalia padronizada (z).

A normalização, expressa na Equação 1, uniformizou entre 0 e 1 o conjunto de valores das detecções das séries mensais e anuais de todos os estados, no contexto da inexistência de um quantitativo homogêneo de queimadas para todo território brasileiro.

$$y = \frac{x - \min(x)}{(x) - \min(x)} \quad (1)$$

Em que x é o valor da série, $\min(x)$ e $\max(x)$ são os valores mínimo e máximo da série, respectivamente.

O cômputo da anomalia padronizada expressa na Equação 2 contribuiu para a avaliação da variabilidade temporal das séries em conformidade com as médias, com o padrão da regressão linear e, com os valores dos coeficientes de determinação (R^2). Valores maiores (menores) que zero são anomalias normalizadas positivas (negativas) em relação à média; isto é, valores positivos (negativos) indicam quantidades de focos acima (abaixo) da média mensal no período de 2003 a 2018.

$$z = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (2)$$

Em que x_i corresponde a cada ano, \bar{X} é a média da série anual e, σ é o desvio padrão da série anual.

Para os acumulados anuais dos estados foram obtidas as médias anuais no intuito de obter o valor percentual médio de cada estado.

Resultados e discussão

O padrão das queimadas é dividido em três temporadas no Brasil: F1 - entre janeiro e março para o extremo da região norte; F2 - entre julho e setembro para a porção central da região norte e as regiões centro-oeste e sudeste, e; F3 - entre outubro e dezembro para porção sudoeste da região do norte e parte da região nordeste. A F2 contribui para 50% da média das detecções das queimadas para todo o Brasil, seguida da F3 (30%) e da F1 (11%). Esta evidência está espacializada na Figura 1 e é igualmente compreendida da seguinte forma: em janeiro os acumulados de detecções dos FQV são observados em Roraima (RR), Pará (PA) e leste do Maranhão (MA); entre fevereiro e março, os registros são acentuados em Roraima (RR), com declínio gradual entre abril e maio; nos meses de

maio e junho, os maiores acumulados de focos estão concentrados no Mato Grosso (MT) e no Tocantins (TO), expandido-se para as regiões centro-oeste do Brasil e sul do bioma Amazônico entre julho e outubro. Destes meses, setembro tem a maior distribuição de áreas acumuladas com detecção de focos de queimadas de vegetação para a parte central do país, como corrobora Neves et al. (2018). Entre novembro e dezembro, os maiores registros se concentram no leste do Pará (PA), Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Ceará (CE).

Esta distribuição temporal, quando observada pelas médias mensais normalizadas dos focos por estado, tem 2 padrões intra-anuais distintos, conforme detalhe na Figura 2. Primeiro, para a maior parte dos estados, há uma distribuição gaussiana com os maiores quantitativos de detecção de focos em agosto, setembro e outubro; segundo, para alguns estados do nordeste e Roraima (RR), prevalece o tipo bimodal, com dois picos do fogo, um primário, entre janeiro e março, e outro secundário, de novembro a dezembro.

Para ambas as intercorrências das Figuras 1 e 2 é evidente uma relação com a variabilidade espacial da precipitação para todo o território brasileiro (Figura 3) devido a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS, Satyamurty et al., 1998). A ZCIT e a ZCAS são dois importantes sistemas precipitantes de intensa atividade convectiva sobre a América do Sul (Utida et al., 2019); a ZCIT atua climatologicamente em torno do paralelo de 5° S e a ZCAS está orientada na direção noroeste-sudeste e se estende da Amazônia ao sudeste do Brasil (Rosso et al., 2018).

Com o início do período chuvoso provocado por estas zonas de convergência, aumenta-se a umidade da vegetação e reduz-se a propensão ambiental para queimadas (Trollope et al., 2004). No contrário, com baixa ou ausente influência destas, especificamente na seca prolongada, eleva-se a quantidade e inflamabilidade do combustível orgânico (Nepstad et al., 1999), aumenta-se a temperatura do ar e reduz-se a umidade relativa do ar, fatores que favorecem a ocorrência do fogo (Nepstad et al., 2007).

Mensalmente, é possível depreender esta associação entre chuva e fogo. Por exemplo, em outubro (Figura 1), os focos se deslocam da região central do Brasil e se concentram no norte das regiões Norte (Pará) e Nordeste (Maranhão, Piauí e Fortaleza). Com o estabelecimento da estação chuvosa para quase todo país no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 3), nota-se

redução na atividade de focos para a mesma região e período (Figura 1).

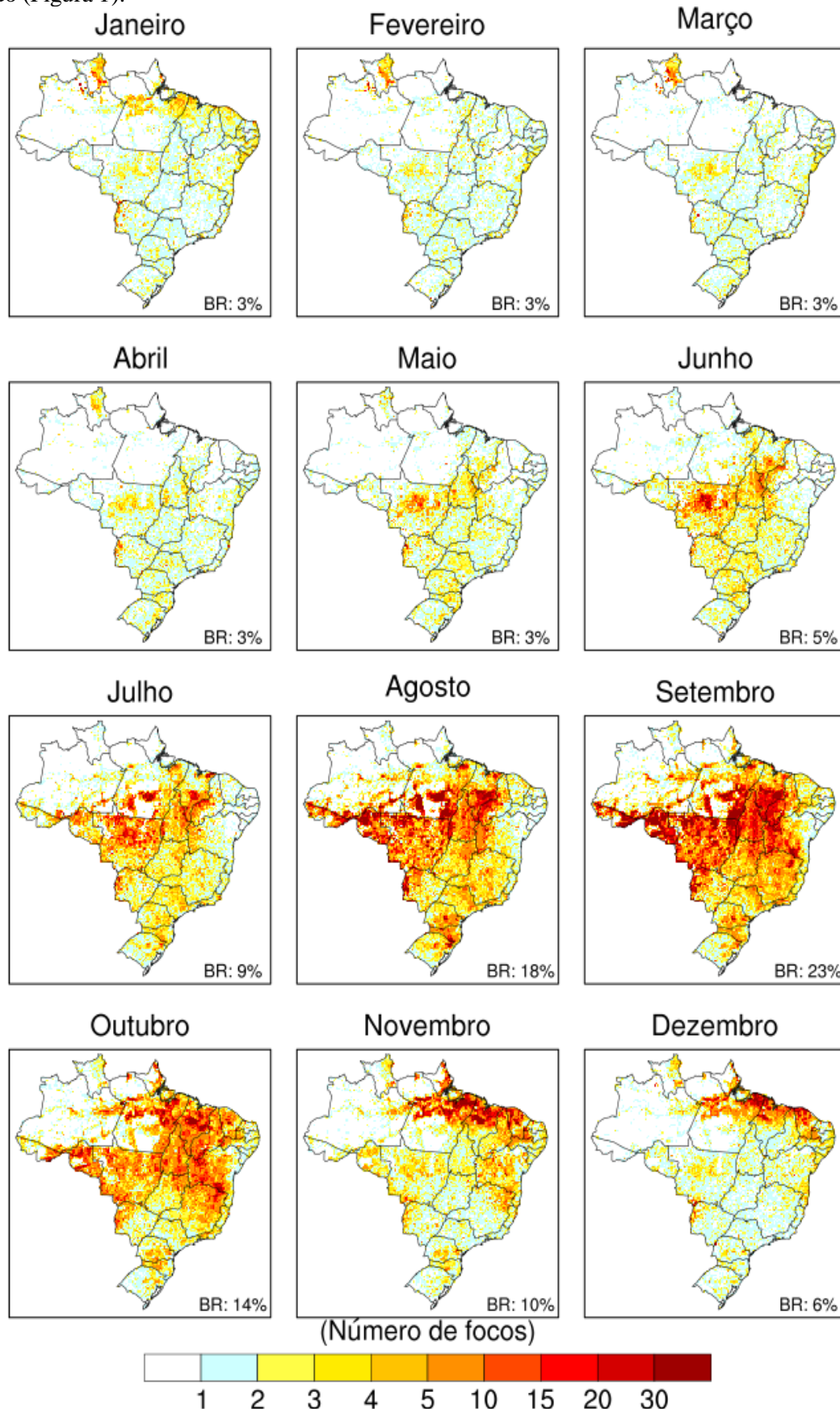


Figura 1. Acumulado médio mensal de FQV para o período de 2003 a 2018. No canto inferior direito é mostrada a contribuição percentual média de cada mês para o total de queimadas.

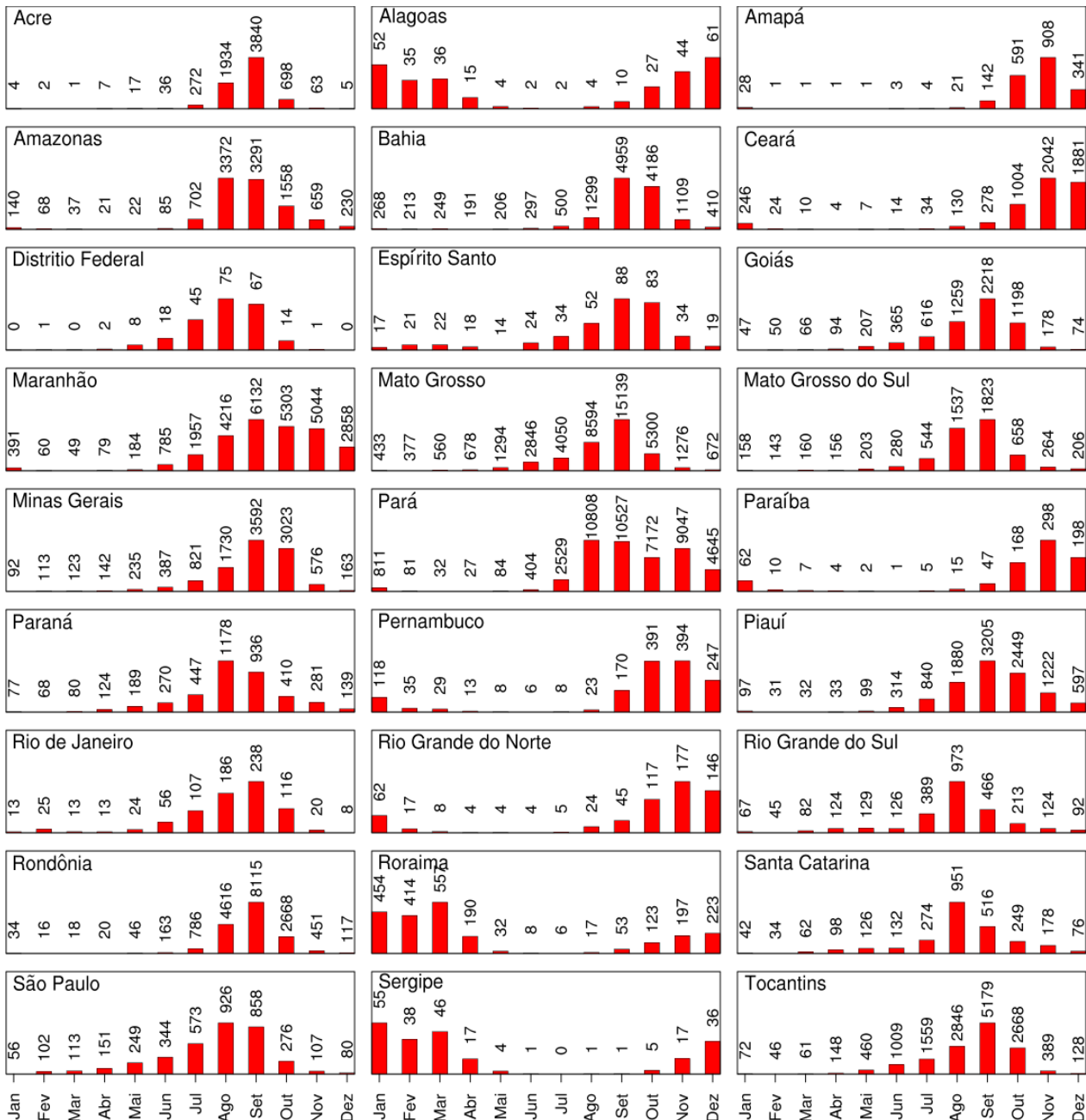


Figura 2. Normalização da média mensal de detecção dos FQVs para os estados. Os valores médios mensais (2003-2018) dos focos são mostrados na parte superior das barras.

Apesar da contribuição da estiagem para a variabilidade intra-anual do fogo, a ignição das queimadas é majoritariamente antropogênica (Ribeiro et al., 2018), não natural e relacionada com atividades do agronegócio (Cunha, 2006). Por

isto, quando as médias anuais dos estados foram ordenadas de forma decrescente (Figura 4) evidenciou-se um “*piro-ranking*” motivado por desmatamentos e pastagens.

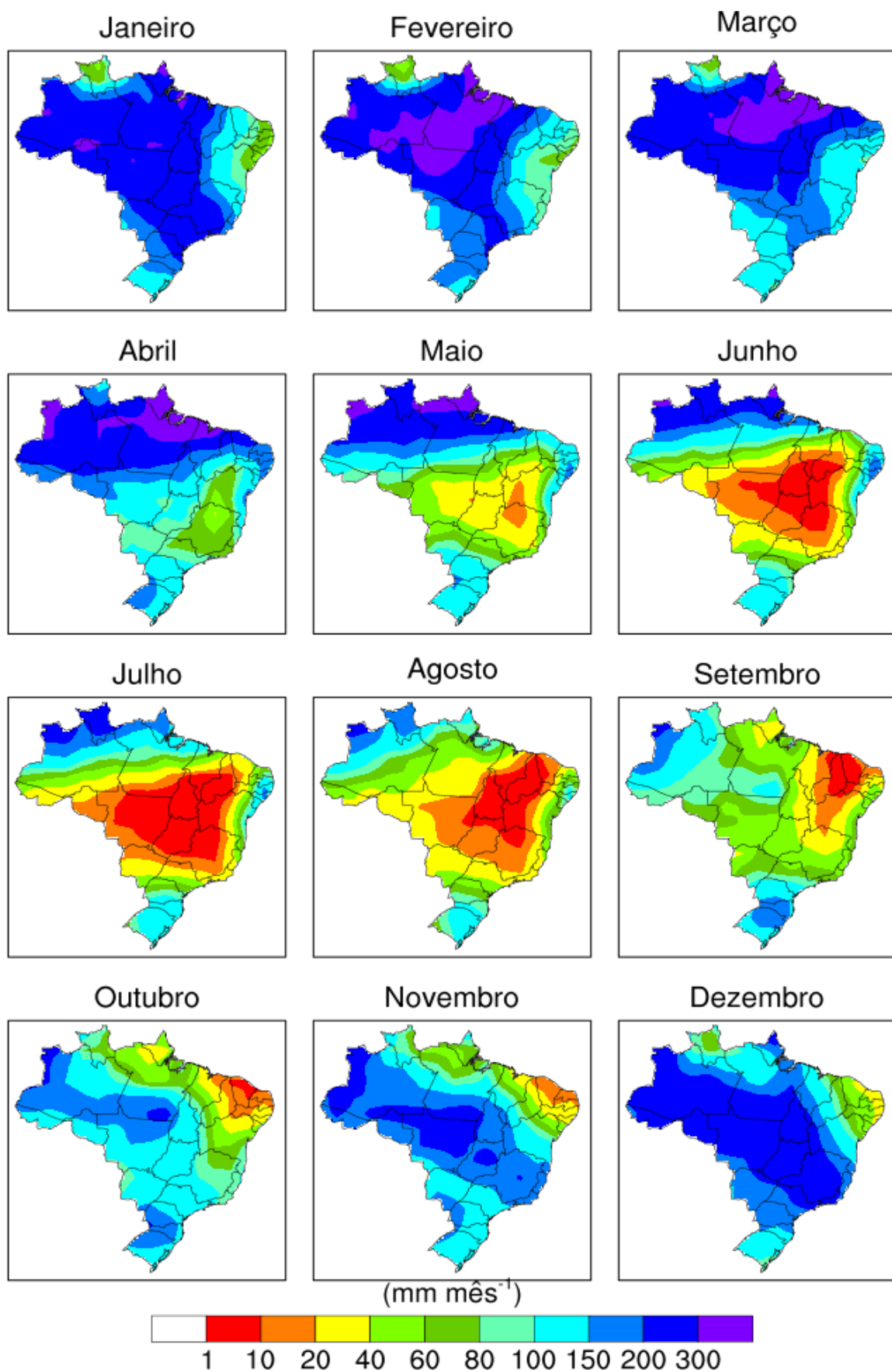


Figura 3. Normal climatológica de precipitação (1981 a 2010) do Brasil. A unidade está em mm mês^{-1} .

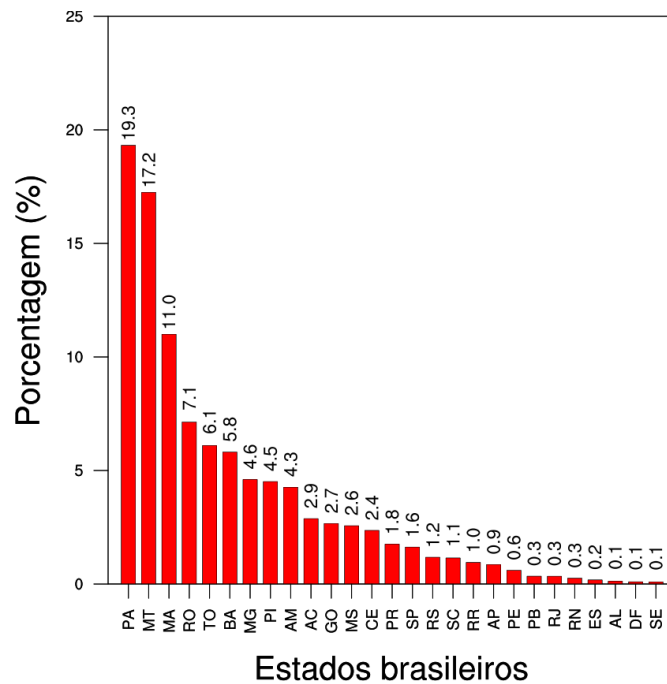


Figura 4. Porcentagem da contribuição da média anual (2003-2018) de detecções FQV de cada estado.

Os estados do Pará, Mato Grosso, Maranhão, Roraima, Tocantins e Bahia representam mais da metade de todas as detecções no Brasil (~67%), sendo as duas primeiras unidades federativas continuamente detalhadas nos balanços anuais do desmatamento do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) para plantação de monoculturas e criação de gado (Rivero et al., 2009). O desmatamento é associado ao fogo em razão da necessidade da limpeza das áreas e da queima de leiras. O terceiro estado, Roraima, tem grandes lavrados (campos naturais) utilizados como pastos que são continuamente queimados no período de estiagem (Barbosa et al., 2007); Maranhão, Tocantins e Bahia devem ser analisados no contexto de atividades de uso do solo da MATOPIBA. A MATOPIBA é uma região formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, onde ocorre a expansão agrícola para produção de *commodities*, o que inclui o uso excessivo do fogo (Pereira e Pauli, 2016).

Anomalia anual do fogo

Em todo o Brasil foram observadas mais detecções anuais inferiores à média da série do que superiores. Seis anos foram de anomalia positiva - 2003 a 2007 e 2010 - e os demais 10 anos - 2008 e 2009 e 2011 a 2018 - de anomalia negativa. O ano de 2007 (BR: +65%) teve o maior registro de detecções do histórico, assim como os anos de

2003 (BR: +42%), 2004 (BR: +49%) e 2005 (BR: +51%) também foram expressivos. Dois anos, 2013 (BR: -46%) e 2018 (BR: -44%), obtiveram as menores anomalias negativas.

A variabilidade das anomalias é especialmente evidenciada na Figura 5. De modo geral, é perceptível a redução de queimadas para todo o território brasileiro, sendo que o estado do Mato Grosso é um dos que mais chama atenção pela redução contínua, provavelmente em resposta da intensificação das ações de fiscalização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) (Arima et al., 2014) e da implementação da política da moratória da soja (Kastens et al., 2017).

No período de 2003 a 2005 houve redução para os estados que ocorrem nos biomas Mata Atlântica, Pampa e Caatinga e um aumento de ocorrências na região do arco do desmatamento amazônico.

Para os anos de 2007 a 2010, a anomalia positiva é distribuída na porção central do País, onde está localizado o Cerrado, bioma que durante o período de estiagem tem elevada quantidade de biomassa seca, o que favorece a ocorrência e propagação de queimadas (Miranda et al., 2009). Estes anos também foram caracterizados como de secas extremas (Marengo et al., 2011; 2018) e, por isso, devem ter contribuído para o estresse hídrico elevado das fitofisionomias campestres e savânicas.

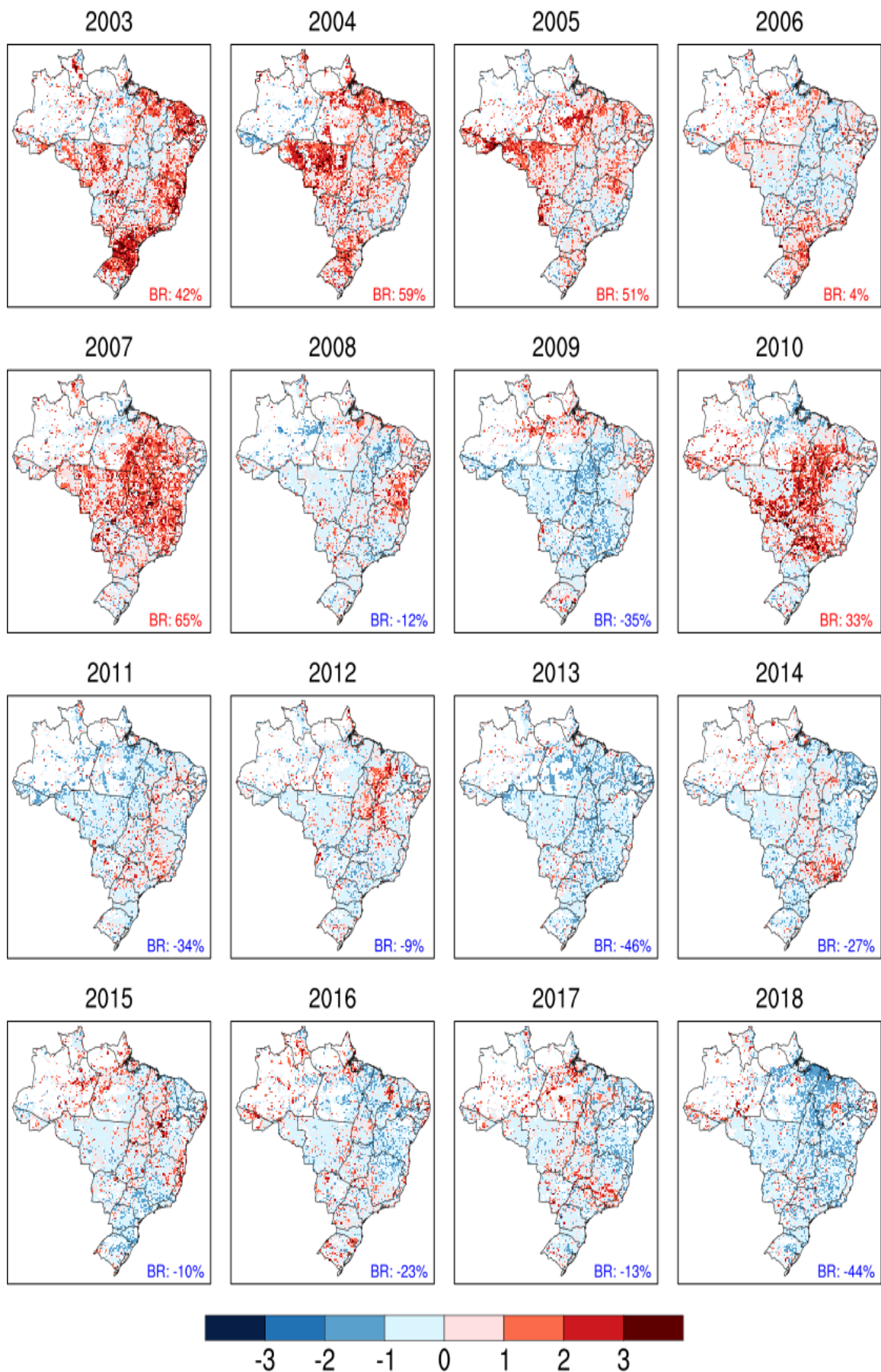


Figura 5. Anomalia anual padronizada dos FQV no Brasil considerando a média mensal de 2003 a 2018. A anomalia negativa (positiva) é representada pela cor azul (vermelho). No canto inferior direito estão as informações sobre o aumento ou diminuição percentual dos focos de calor em cada ano.

Esta tendência também foi indicada na regressão linear dos valores normalizados e na análise dos coeficientes de determinação resultantes que estão dispostos na Figura 6. Para alguns estados, esta redução é mais acentuada, como em Pernambuco e Ceará: respectivamente, $R^2 = 0.81$ e $R^2 = 0.80$. Nas UFs que compõem a MATOPIBA, apenas a Bahia se destaca pelo decréscimo ao longo dos anos. Caatinga e Pampa recebem as mesmas interpretações já descritas para a Figura 5.

No Piauí, Distrito Federal, Amapá, Roraima, Amazonas e Tocantins, há um destaque interessante: nestes, que usualmente estão na média devido a quantidade de sinistros, é observada estabilização dos valores ao longo da série. Isto pode corresponder à ausência de políticas públicas e legislações estaduais (distritais) pertinentes para punir infratores em caso de uso ilegal do fogo e, de baixo contingenciamento para atividades fiscalizatórias.

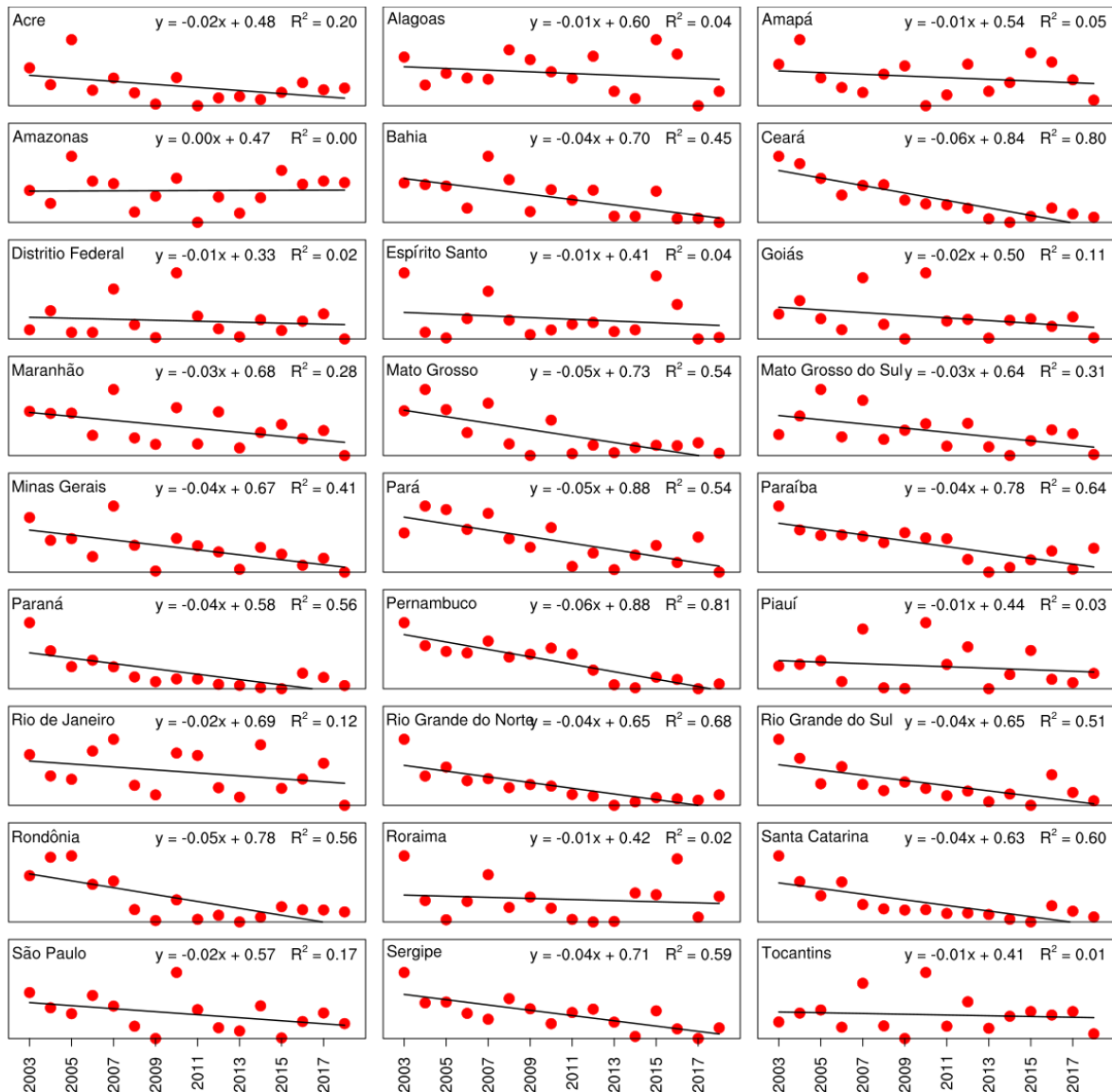


Figura 6 - Distribuição anual acumulada dos focos de calor no Brasil no período de 2003 a 2018. Os dados são normalizados entre 0 (mínimo) e 1 (máximo). A linha preta representa a reta de regressão.

Conclusões

O fogo pode ser prejudicial à saúde humana, à atmosfera e à biodiversidade, principalmente quando de elevadas extensões, frequências e amplitudes. Por este estudo, foram evidenciados três padrões de queimadas no Brasil. Um primário, entre julho e setembro, que coincide

com o período seco da região central do Brasil e apresenta a maior quantidade de detecções anuais. Um secundário, de outubro a dezembro, que afeta as regiões nordeste, norte do Pará, Alagoas e Roraima. E, por último, o de janeiro a abril, para todo o estado de Roraima.

Para a maioria dos estados há tendência de redução temporal de queimadas; em alguns, estabilidade na variação. Este segundo caso é o de maior preocupação, pois enseja interpretações de que as atuais políticas e legislações vigentes não são satisfatórias na punição ou no combate.

Por fim, foi compreendido que o padrão das queimadas pode ser modulado pela precipitação, não cabendo a motivar como responsável pela a "origem do fogo", que na maioria dos casos é antrópica.

Sendo assim, apesar da tendência de diminuição das queimadas no Brasil, de modo geral estas ainda têm maior ocorrência na estiagem, quando tendem a contribuir significativamente com emissões de particulados finos e gases traço, à mortalidade de espécies e ao dispêndio do orçamento público em operações de combate. Cabe aos entes federativos investirem em estratégias com vias a atividades de fiscalização, de monitoramento, de educação ambiental e de prevenção para reduzi-las satisfatoriamente na estação seca.

Agradecimentos

Ao Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo nº 133078/2019-1), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Código de Financiamento 001), ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEA-UnB) e ao Projeto MCT-FIP Monitoramento Cerrado (Número do Projeto P143185).

Referências

Arima, E.Y., Barreto, P., Araújo, E., Soares-Filho, B., 2014. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land use policy* 41, 465-473. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.026>.

Barbosa, R.I., Campos, C., Pinto, F., Fearnside, P.M., 2007. The “Lavrados” of Roraima: biodiversity and conservation of Brazil’s Amazonian Savannas. *Functional Ecosystems and Communities* 1, 29-41.

Bizzo, E., de Farias, A.L.A., 2017. Priorização de municípios para prevenção, monitoramento e controle de desmatamento na Amazônia: uma contribuição à avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). *Desenvolvimento e Meio ambiente* 42, 135-159. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/dma.v42i0.53542>.

Bowman, D.M., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., Johnston, F.H., 2009. Fire in the Earth system. *Science* 324, 481-484. doi:<https://doi.org/10.1126/science.1163886>.

Castelo, T.B., Adami, M., Almeida, C.A., de Almeida, O.T., 2018. Governos e mudanças nas políticas de combate ao desmatamento na Amazônia. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica* 28, 125-148.

Cunha, J.M.P., 2006. Dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste brasileiro: o caso de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Estudos de População* 23, 87-107.

de Sá, S.S., Rizzo, L.V., Palm, B.B., Campuzano-Jost, P., Day, D.A., Yee, L.D., Wernis, R., Isaacman-VanWertz, G., Brito, J., Carbone, S., Liu, Y.J., Sedlacek, A., Springston, S., Goldstein, A.H., Barbosa, H.M.J., Alexander, M.L., Artaxo, P., Jimenez, J.L., Martin, S.T., 2019. Contributions of biomass-burning, urban, and biogenic emissions to the concentrations and light-absorbing properties of particulate matter in central Amazonia during the dry season. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 7973-8001. doi:<https://doi.org/10.5194/acp-19-7973-2019>.

Dios, V. R., 2020. Fire as an Earth System Process. In *Plant-Fire Interactions* (pp. 31-51). Springer, Cham. doi:<https://doi.org/10.1126/science.1163886>.

Fonseca-Morello, T., Ramos, R., Steil, L., Parry, L., Barlow, J., Markusson, N., Ferreira, A., 2017. Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: porque as políticas públicas têm efeito-limitado. *Ambiente & Sociedade* 20, 19-40. doi:<https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0232r1v2042017>.

Gácita, M.S, Longo, K.M., Freire, J.L.M., Freitas, S.R., Martin, S.T., 2017. Impact of mixing state and hygroscopicity on CCN activity of biomass burning aerosol in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, 2373-2392. doi:<https://doi.org/10.5194/acp-17-2373-2017>.

Giglio, L., Schroeder, W., Justice, C.O., 2016. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment* 178, 31-41.

Glasspool, I.J., Edwards, D., Axe, L., 2004. Charcoal in the Silurian as evidence for the earliest wildfire. *Geology*, 32(5), 381-383. doi:<https://doi.org/10.1130/G20363.1>.

Glikson, A., 2013. Fire and human evolution: the deep-time blueprints of the Anthropocene. *Anthropocene* 3, 89-92.

- doi:<https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.02.002>.
 Harfuch, L., Moreira, M.M., 2012. Economic and environmental impacts of PPCerrado policy using the Brazilian Land Use Model–BLUM (No. 201235).
- Kastens, J.H., Brown, J.C., Coutinho, A.C., Bishop, C.R., Esquerdo, J.C.D.M., 2017. Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. *Plos One* 12, 1–21.
 doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176168>.
- Liu, Z., Ballantyne, A.P., Cooper, L.A., 2019. Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *Nature Communications* 10, 214.
 doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-018-08237-z>.
- Machado-Silva, F., Libonati, R., Lima, T.F.M., Peixoto, R.B., França, J.R.A., Magalhães, M.A.F.M., Santos, F.L.M., Rodrigues, J.A., DaCamara, C.C., 2020. Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. *Ecological Indicators* 109, 105817. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817>.
- Malavelle1, F.F., Haywood, J.M., Mercado, L.M., Folberth, G.A., Bellouin, N., Stephen, S., Artaxo, P., 2019. Studying the impact of biomass burning aerosol radiative and climate effects on the Amazon rainforest productivity with an Earth system model. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 1301-1326. doi:<https://doi.org/10.5194/acp-19-1301-2019>.
- Marengo, J.A., Tomsasella, 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, 1-5. doi:<https://doi.org/10.1029/2011GL047436>.
- Marengo, J.A., Souza, C.M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R.A., Alves, L.M., Soares, W.R., 2018. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science* 6, 228. doi:<https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.
- Miranda, H.S., Sato, N.S., Nascimento, W.N., Aires, F.S., 2009. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In 'Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics (Ed. MA Cochrane), pp. 427-450.
- Nepstad, D.C., Moreira, A.G., Alencar, A., 1999. A floresta em Chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. In: Programa Piloto para a proteção das Florestas Tropicais do Brasil. (Ed. Banco Mundial), pp. 1-172.
- Nepstad, D.C., Tohver, I.M., Ray, D., Moutinho, P., Cardinot, G., 2007. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology* 88, 2259-2269. doi:<https://doi.org/10.1890/06-1046.1>.
- Neves, L.F.S., Marimon, B.S., Anderson, L.O., Neves, S.M.A.S., 2018. Dinâmica de Fogo no Parque Estadual do Araguaia, Zona de Transição Amazônia-Cerrado. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise* 44, 85-103. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.47926>.
- Pereira, L.I., Pauli, L.O., 2016. O processo de estrangeirização da terra e expansão do agronegócio na região do Matopiba. *Campo - Território: Revista de Geografia Agrária* 11, 196-224. doi:<https://doi.org/10.14393/RCT112307>.
- Pyne, S. J. Fire: a brief history. University of Washington Press, 2019, 240 p..
- Ribeiro, I.O, Andreoli, R.V., Kayano, M.T., Sousa, T.R., Medeiros, A.S., Godoi, R.H.M., Godoi, A.F.L., Duvoisin, S., Martin, S.T., Souza, R.A.F., 2018. Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015. *Environmental Pollution* 243, 1008-1014. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.022>.
- Riley, K.L., Williams, A.P., Urbanski, S.P., Calkin, D.E., Short, K.C., O'Connor, C.D., 2019. Will landscape fire increase in the future? A systems approach to climate, fire, fuel, and human drivers. *Current Pollution Reports*. 5(2), 9-24. doi:<https://doi.org/10.1007/s40726-019-0103-6>.
- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., Oliveira, W., 2009. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia*, 19(1), 41-66. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>.
- Rosso, F.V., Boiaski, N.T., Ferraz, S.E.T., Robles, T.C., 2018. Influence of the Antarctic Oscillation on the South Atlantic Convergence Zone. *Atmosphere* 9, 431. doi:<https://doi.org/10.3390/atmos9110431>.
- Santa Rosa, A., Daldegan, R.A., Paula Laranja, R.E., Franca, R.R., 2019. Resultados preliminares do manejo integrado do fogo nas terras indígenas Paresi. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 7(4), 469-480. doi:<https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n4.srosa>.
- Santos, F., Longo, K., Guenther, A., Kim, S., Gu, D., Oram, D., Forster, G., Lee, J., Hopkins, J., Brito, J., Freitas, S., 2018. Biomass burning emission disturbances of isoprene oxidation in a tropical forest. *Atmospheric Chemistry and*

- Physics 18, 12715-12734. doi:
<https://doi.org/10.5194/acp-18-12715-2018>
- Satyamurty P., Mattos L.F., Nobre, C.A., Silva Dias, P.L., 1998. Tropics - South America. In: Meteorology of the Southern Hemisphere, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. American Meteorological Society, Boston, 119-139.
- Silva Junior, C.H.L., Anderson, L.O., Silva, A.L., Almeida, C.T., Dalagnol, R., Pletsch, M.A.J.S., Penha, T.V., Paloschi, R.A., Aragão, L.E.O.C., 2019. Fire Responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian Droughts 7. *Frontiers in Earth Science* 7, 97, doi:<https://doi.org/10.3389/feart.2019.00097>.
- Trollope, W.S.W., De Ronde, C., Geldenhuys, C.J. Fire Behaviour. In: Goldammer, J. G.; Ronde, C. (Eds.). *Wildland fire management handbook for Sub-Saharan Africa*. Alemanha: Frieburg University, 2004, 432 p.
- Utida, G., Cruz, F.W., Etourneau, J., Bouloubassi, I., Schefuß, E., Vuille, M., Novello, V.F., Prado, L.F., Sifeddine, A., Klein, V., Zular, A., Viana, J.C.C., Turcq, B., 2019. Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. *Scientific Reports* 9, 1698. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-018-38003-6>.
- Van Marle, M.J., Field, R.D., van der Werf, G.R., de Wagt, I.A.E., Houghton, R.A., Rizzo, L.V., Tsigaridis, K., 2017. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973–2014). *Global biogeochemical cycles*, 31(1), 24-38. doi:<https://doi.org/10.1002/2016GB005445>.
- Wang, B., Li, X., Huang, Y., Zhai, G., 2016. Decadal trends of the annual amplitude of global precipitation. *Atmospheric Science Letters*, 17(1), 96-101. doi:<https://doi.org/10.1002/asl.631>.
- Xie, P., Arkin, P.A., 1997. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78, 2539-2558. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2539:GPAYMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2539:GPAYMA>2.0.CO;2).
- Zhou, L., Wang, Y., Chi, Y., Wang, S., Wang, Q., 2019. Contrasting Post-Fire Dynamics between Africa and South America based on MODIS Observations. *Remote Sensing* 11, 1074. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11091074>.