



**Avaliação da Ocorrência de Focos de Calor na região da Estação Ecológica  
do Taim e Campos Neutrais, Rio Grande do Sul – Brasil**  
Evaluation of Active Fire Occurrence in the ecological station region  
and Campos Neutrais, Rio Grande do Sul – Brazil

Ana Lucia da Silva Nascimento; Mateus da Silva Teixeira;  
Marcelo Félix Alonso & William Duarte Jacondino

*Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,  
Av. Ildefonso Simões Lopes, 2751, 96060-290, Pelotas, RS, Brasil*

*E-mails: analuciasne@gmail.com; mateus.teixeira@ufpel.edu.br; marcelo.alonso@ufpel.edu.br; williamjacondino@hotmail.com*

Recebido em: 07/07/2020 Aprovado em: 20/10/2020

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2020\\_4\\_460\\_469](http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_460_469)

## Resumo

Unidades de Conservação são regiões demarcadas com o objetivo de preservar o bioma, tornando-as importantes ferramentas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, em termos do estoque de carbono e da preservação de recursos hídricos. Sob condições atmosféricas que proporcionam um período atípico, ambientes florestais preservados ficam suscetíveis à ação do fogo, que pode proporcionar uma alteração drástica em sua estrutura e diversidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência de focos de calor na região da Estação Ecológica do Taim e Campos Neutrais, Rio Grande do Sul - Brasil (1998 a 2018). As informações sobre os focos de calor foram obtidas através do modelo *Brazilian Biomass Burning Emission Model*, do pré-processador de emissões PREP-CHEM-SRC, a partir do qual foram feitas correlações com dados de precipitação média na área e anomalias da temperatura média da superfície do mar nas regiões do Niño e Oceano Atlântico Adjacente. Os principais resultados mostraram que o período sazonal de maior ocorrência de focos de calor foram os da primavera e verão, destacando-se os meses de dezembro e janeiro, diferindo do que ocorre para o bioma Pampa. Observou-se uma tendência de aumento de focos de calor e diminuição da precipitação (0,62 FC/ano e -14,9 mm/ano) na região, entretanto, elas não se mostraram estatisticamente significativas. Os resultados indicam também que períodos com baixa precipitação, iniciados até três meses antes podem aumentar a ocorrência de focos de calor, evidenciando que a atmosfera exerce um papel importante no condicionamento para sua ocorrência.

**Palavras-chave:** *incêndios florestais; unidades de conservação; bioma pampa*

## Abstract

Conservation Units are demarcated regions with the purpose of preserving the biome, making them important tools for mitigating the effects of climate change, in terms of the carbon stock and the preservation of water resources. Under certain atmospheric conditions that provide an atypical period, preserved forest environments are susceptible to action of fire, which can provide a drastic change in its structure and diversity. This study aimed to evaluate the occurrence of active fire in the region of the Ecological Station of Taim and Campos Neutrais, Rio Grande do Sul - Brazil (1998 to 2018). The information about the active fire was obtained through the *Brazilian Biomass Burning Emission Model*, from the PREP-CHEM-SRC emissions preprocessor, from which correlations were made with average precipitation data in the area and average temperature anomalies of the sea surface in the regions of Niño and Adjacent Atlantic Ocean. The main results showed that the seasonal period with the highest occurrence of fires was the spring and summer, with the months of December and January standing out, differing from what occurs for the Pampa biome. There is a tendency of increasing active fire and decreasing trend in precipitation in the region (0,62 FC/year e 14,9 mm/year), however, without statistical significance. The results also indicate that periods with low rainfall, which started up to three months earlier, may increase the occurrence of active fire, showing that the atmosphere plays an important role in conditioning its occurrence.

**Keywords:** *forest fire; conservation units; biome pampa*

## 1 Introdução

Unidades de conservação (UC) foram criadas com o objetivo de proteger os remanescentes de biomas de determinadas regiões. No Brasil (BR), as UC continentais estão distribuídas entre os Biomas da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa, correspondendo a uma área de preservação de 28,64%, 8,7%, 26,42%, 10,22%, 4,55% e 2,87% do bioma protegido, respectivamente (MMA, 2018). Incêndios florestais (IF) são ameaças constantes aos objetivos de uma UC e poucas delas possuem planos de prevenção e controle (Koproski *et al.*, 2011). No BR ocorrem milhares de IF, principalmente nos ecossistemas do cerrado e floresta, majoritariamente associados a práticas agrícolas e agropecuária (Dias, 2006; Freitas *et al.*, 2009). Segundo Lapola *et al.* (2019), as áreas protegidas, como as UC, são importantes para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e, além de ser um importante estoque de carbono, preservam recursos hídricos e serviços ligados as necessidades básicas de segurança alimentar.

Sob condições atmosféricas que proporcionam um período mais seco, ambientes florestais intactos e preservados ficam mais suscetíveis à ação do fogo, que pode proporcionar uma alteração drástica em sua estrutura e diversidade. Os fatores meteorológicos são claramente os elementos críticos que influenciam a ocorrência, comportamento e dinâmica dos IF, além de constituir um dos três elementos importantes para o seu início e desenvolvimento. Por exemplo, períodos com altas temperaturas, baixos níveis de umidade relativa do ar (UR), perfis termodinâmicos instáveis da atmosfera, direção e intensidade do vento, origem, trajetória e características das massas de ar que agem sobre uma região e ocorrência de descargas elétricas (Westerling *et al.*, 2004; Leite *et al.*, 2017; Lapola *et al.*, 2019).

Outro fator importante é o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que altera os níveis de precipitação e temperatura em todo o globo (Aceituno, 1988; Diniz, 1998; Pereira *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2017). No BR, o ENOS pode potencializar e prolongar episódios de estiagem, contribuindo com fatores que favorecem a ocorrência de IF (Brito *et al.*, 2008; Clemente *et al.*, 2017), como por exemplo o que ocorreu em Roraima nos anos de 1997 e 1998, que consumiu cerca de 40.678 km<sup>2</sup> (20%) da área do estado (Barbosa *et al.*, 1999).

Além dos efeitos negativos ao meio ambiente local, os IF injetam material nocivo que é liberado pela queimada de biomassa, como os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os hidrocarbonetos não-metano (HCNM), o metano (CH<sub>4</sub>) e o Material Particulado. Esses gases e aerossóis são emitidos na baixa e média troposfera e, uma vez dentro

da troposfera, o transporte se dá de forma mais eficiente devido as altas velocidades dos fluxos de ar, transportando-os para regiões distantes da fonte (Pereira *et al.*, 2005; Freitas *et al.*, 2009; Alonso, 2011; Andreae *et al.*, 2001; ICMbio, 2010). A emissão desses gases e particulados provoca o aumento da temperatura e causa desregulação do regime de chuvas de certas regiões, tais mudanças podem impactar diretamente na economia devido a alterações na produtividade agropecuária (IPCC, 2006; Fearnside *et al.*, 2013). A poluição do ar afeta também a saúde do ser humano e, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), atualmente cerca de 9 em cada 10 pessoas respiram ar poluído, sendo este alguns dos principais causadores de doenças respiratórias (Duchiade, 1992; Hyde *et al.*, 2016; OMS, 2019).

Estudos vêm sendo desenvolvidos acerca de IF em UC de diversos biomas brasileiros, como por exemplo, Medeiros & Fiedler (2004), Corrêa (2007), Clemente *et al.* (2017), Rodrigues *et al.* (2018). Os autores concordam que a maioria dos IF ocorrem em períodos de estiagem, associados a atuação de massas de ar seco e formação de bloqueios atmosféricos, baixa UR, ressecamento do material combustível (material vegetal), diminuição da ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Sul, associado a circulação anormal da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Vale salientar que mesmo que a atmosfera possa contribuir para a ocorrência dos IF, seu início, na maioria das vezes, ocorre por ação antrópica (ICMBio, 2017).

Embora nos últimos anos venham se desenvolvendo inúmeros trabalhos que investigam a distribuição espacial de focos de calor (IF ou queimadas) no território nacional, ainda é incipiente a investigação em locais de UC, especialmente as localizadas no bioma Pampa. Assim, este trabalho tem como objetivo investigar os IF/focos de calor (FC) que ocorreram na Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim) e Campos Neutrais (CN), região localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), BR, visando contribuir no auxílio para medidas de prevenção e mitigação.

## 2 Metodologia e Dados

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a ESEC Taim, que é uma das UC brasileiras e está situada nos municípios de Rio Grande (RG) e Santa Vitória do Palmar (SVP), no RS, a qual possui uma área de aproximadamente 32.000 ha (Figura 1). Visto que os FC podem ocorrer fora e posteriormente ir em direção a UC, a área de abrangência deste estudo se estende para além da área da ESEC Taim, sendo composta por toda região da ESEC Taim e CN, que correspondem a toda parte

sul após o limite da UC (SVP), e fazem parte do bioma Pampa (restrito ao sul do estado do RS, onde ocupa uma área de 176.496 km<sup>2</sup>). A Figura 1 mostra o mapa com a divisão política da AS e BR (à direita), localização da ESEC Taim (à esquerda) em destaque (vermelho), com a divisão municipal do RS, as cidades de RG, SVP e os principais corpos d’água da região (Lagoa Mirim e Lagoa Manguueira).

## 2.2 Dados

Os FC foram obtidos a partir do modelo *Brazilian Biomass Burning Emission Model* (3BEM), incluso no pré-processador de emissões *Preprocessor of Trace Gas and Aerosol Emission fields for Regional and Global Atmospheric Chemistry Models* (PREP-CHEM-SRC) (Freitas *et al.*, 2011). Utilizou-se uma compilação dos produtos dos satélites *Geostationary Operational Environmental Satellite - Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm* (GOES WF\_ABBA) (Prins *et al.*, 1998), dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC – INPE) utilizando produtos do fogo baseado no *Advanced*

*Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo dos satélites de órbita polar *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Setzer & Pereira, 1991) e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (Giglio *et al.*, 2003). As informações sobre os tipos de satélites, os sensores, a resolução espacial e o tempo de retorno do imageamento são mostrados na Tabela 1. Os produtos obtidos são combinados usando um algoritmo que filtra a contagem dupla do mesmo FC, eliminando os repetidos dentro de um círculo com raio de 1 km (mais detalhes em Freitas *et al.*, 2011). O estudo compreende o período de junho de 1998 a dezembro de 2018.

Uma avaliação temporal da precipitação média na região de estudo foi realizada com os dados do *Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation* do Climate Prediction Center (CPC) da NOAA, que consiste em uma série de precipitação diária baseada em dados pluviométricos interpolados (Chen *et al.*, 2008) de estações meteorológicas de agências nacionais e internacionais. Os dados do CPC possuem resolução espacial de 0,5° de latitude e longitude para o período de 1979 até 2018. Para tal, utilizou-se os domínios da área de estudo para se fazer

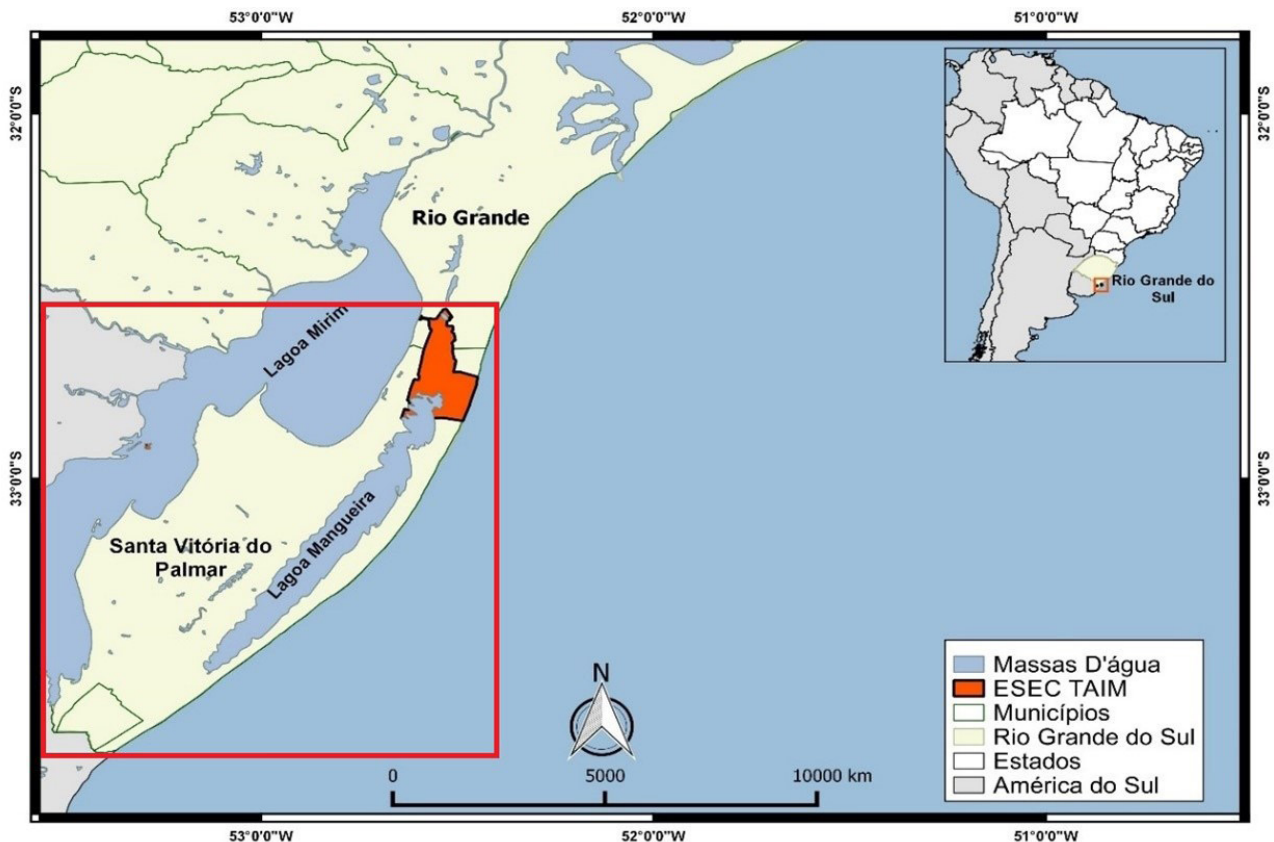


Figura 1 Mapa com destaque da área de estudo (quadro vermelho) contendo a ESEC Taim (área em vermelho, sem a zona de amortecimento). Os Campos Neutrais correspondem a toda região do município de Santa Vitória do Palmar. No canto superior esquerdo é mostrado o posicionamento geográfico da área de estudo na AS.

Tipo de Satélite	Sensor	Resolução Espacial	Abrangência Temporal dos dados	Revisita
<b>Órbita Polar</b>				
NOAA	Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR)	1 km	1998 a 2018	12 h
NASA TERRA & AQUA	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	1 km	2000 a 2018	1 a 2 dias
<b>Geoestacionários</b>				
GOES WFABBA/ NOAA GOES-East (GOES-13)	GOES I-M - (Imager Radiometer e Vertical Sounder)	4 km	1997 a 2015	30 min

Tabela 1 Satélites, sensores, resolução espacial, abrangência temporal dos dados utilizados e tempo de retorno do imageamento (revisita) utilizados pelo 3BEM.

médias mensais e anuais de precipitação para a região, durante os anos de 1998 a 2018; período em que se tem dados de FC. Uma comparação desses dados com dados observados na estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em RG (estação meteorológica mais próxima da ESEC) foi realizada. Essa comparação teve como objetivo assegurar que os dados do CPC, que abrangem toda a região representam adequadamente o comportamento da precipitação na área de estudo.

Foi avaliada a intensidade da relação da anomalia da temperatura média na superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico Tropical Central e Leste e oceano Atlântico Adjacente com os FC, utilizando os dados de reanálise da quinta geração (ERA5) do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (Hersbach *et al.*, 2020), com resolução espacial de 0,25° de latitude e longitude, para o mesmo período do estudo.

## 2.3 Métodos

Com os dados de FC, foram feitas análises descritivas e exploratórias dos dados para se conhecer a variação anual, mensal, e o período mais favorável à sua ocorrência na região de estudo. Aplicou-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) com o objetivo de observar se há tendência de diminuição/aumento nas ocorrências de precipitação e FC, considerando o nível de 95% de significância estatística (Salviano *et al.*, 2016)

Para aferir a validade/confiabilidade dos dados do CPC, foi feita a climatologia da precipitação (1981-2010) no ponto de grade mais próximo da estação meteorológica de RG e comparada (por meio do coeficiente de correlação de Spearman) com a climatologia da precipitação (1981-2010) obtida através do INMET. Posteriormente, foi avaliada a precipitação média mensal na região de estudo (Figura 1) para o período de junho 1998 a dezembro de 2018 e sua correlação com a média mensal de FC, com defasagens de até seis meses entre as séries.

Foi avaliada, também, a relação entre FC e a anomalia da TSM nas regiões do Niño 1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W), Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), Niño 3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), Niño 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W) e a região do Oceano Atlântico adjacente a região de estudo (26°S-38°S; 53°W-45°W). Para tal, avaliou-se a TSM mensal nas regiões do Niño durante o período de 1979 a 2018 e posteriormente calculou-se as anomalias da TSM nas regiões e as respectivas correlações (utilizando-se defasagens de até seis meses), para os eventos mais significativos identificados, ou seja, aqueles FC diários superiores ao percentil 90 de toda amostra. As correlações mencionadas anteriormente foram calculadas com o coeficiente de correlação de Spearman (Wilks, 2006) e testadas ao nível de 95% de significância estatística.

## 3 Resultados e discussão

São apresentados abaixo a análise dos dados, com objetivo de se obter uma descrição da distribuição de FC por ano, mês e período sazonal na região da ESEC Taim e CN.

### 3.1 Análise e descrição dos dados

A relação entre as médias mensais dos dados de precipitação do CPC e da estação meteorológica do INMET localizada em RG se mostrou satisfatória, tendo uma correlação igual a 0,81 (Figura 2). Na Figura 3 pode-se observar a série temporal do total anual de FC (linha vermelha) e acumulado de precipitação (linha azul) para o período de junho de 1998 a dezembro de 2018 que ocorreram na ESEC Taim e CN. Os dados mostram um pico no número de FC durante os anos de 2008, 2013 e 2015, que somados correspondem a 30% do total de FC para a série estudada. Já as distribuições interanuais de FC e de precipitação anual (P) na área de estudo mostram uma tendência de crescimento e decréscimo (0,62 FC/ano e -14,9 mm/ano), respectivamente; entretanto, ambas tendências não se mostraram estatisticamente significativas.



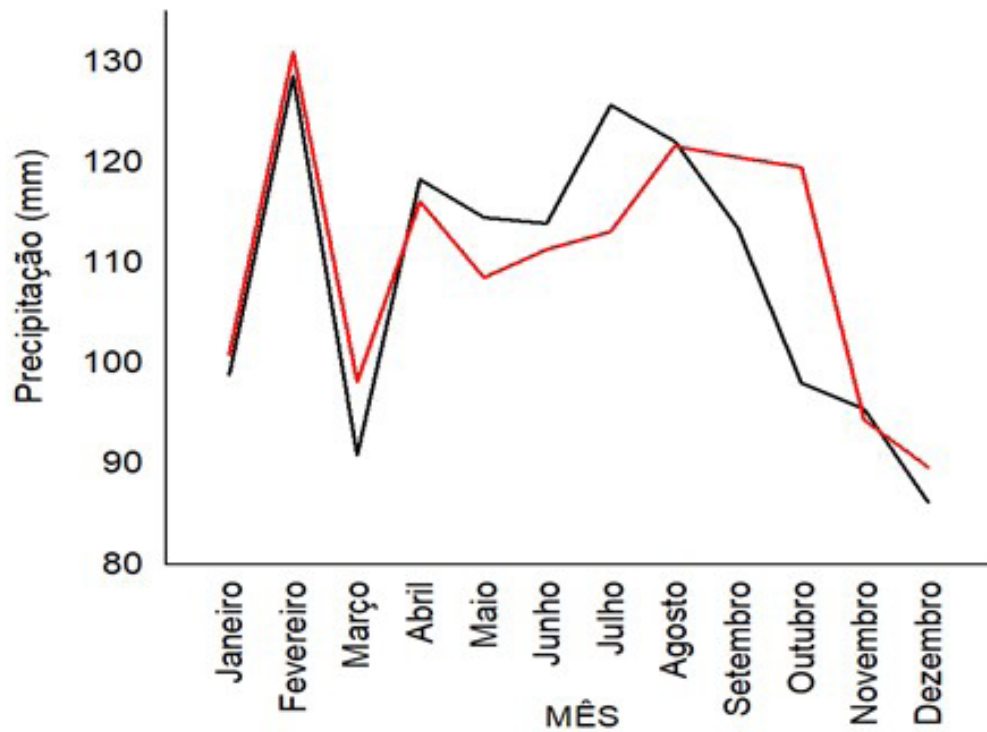


Figura 2 Variação sazonal da climatologia da precipitação (1981 - 2010) na estação de RG (linha preta) obtida através dos dados do INMET e climatologia da precipitação no ponto de grade mais próximo da estação meteorológica de RG (linha vermelha), obtida através dos dados do CPC.

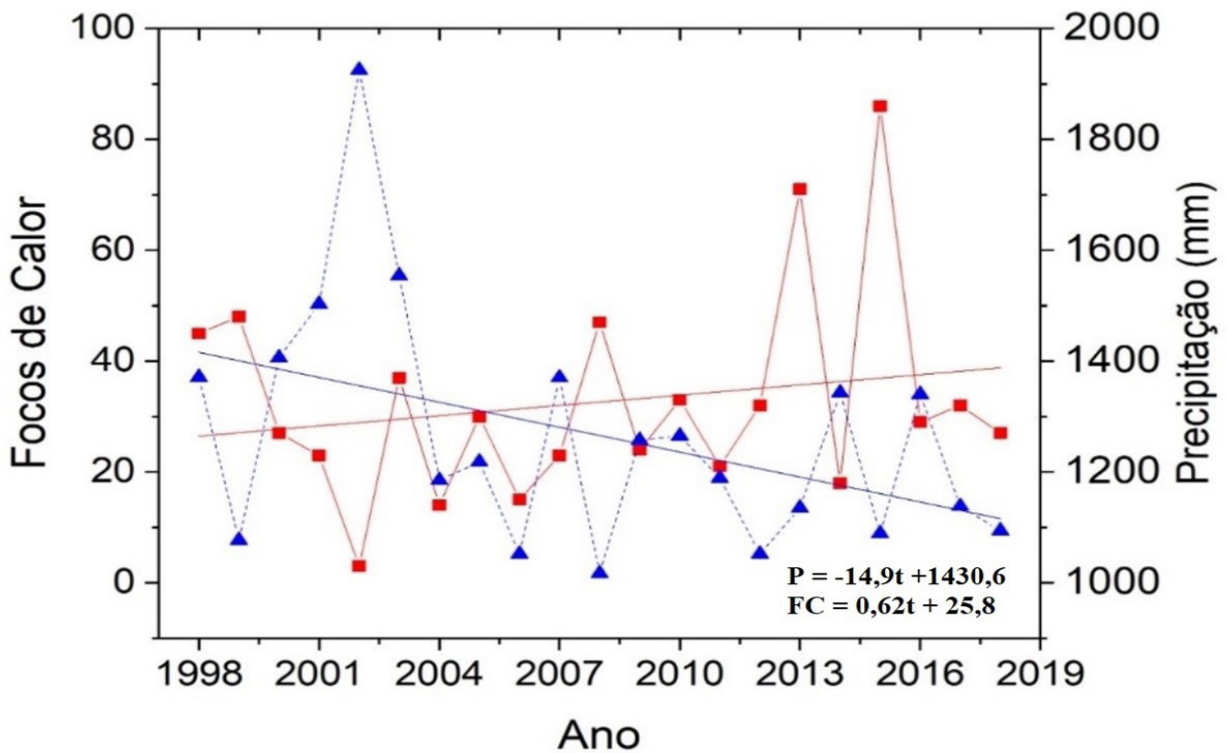


Figura 3 Variação anual e linha de tendência de FC (vermelha); acumulado de precipitação anual (P) a partir dos dados do CPC e linha de tendência (azul) para o período de junho de 1998 a dezembro de 2018. Média da precipitação na área: 1.218 mm/ano.

A análise das duas séries mostrou que há uma fraca relação inversa (correlação igual a -0,33, mas estatisticamente significativa) entre a precipitação e as ocorrências de FC, mostrando que quando há um decréscimo no acumulado de precipitação, há um aumento na ocorrência de FC. Por se tratar de uma área composta em sua maioria por banhados, períodos prolongados de estiagem somados ao plantio de arroz irrigado (utiliza a captação de água da região da ESEC Taim), explorado principalmente nos meses de verão, promovem uma grande redução no nível de água (Marques & Villanueva, 2001; Wollmann *et al.*, 2016). A redução no nível de água no sistema de banhados torna a região mais suscetível a ocorrência e propagação de incêndios, à medida que contribui para uma maior quantidade de material vegetal seco disponível para a ignição. Pode-se citar como exemplo os maiores incêndios já registrados ocorridos em 2008 e 2013, que atingiram cerca de 21% e 46% da área da UC, respectivamente (Natalie *et al.*, 2015).

A partir da Figura 4 é possível afirmar que a densidade de FC é baixa na região de estudo, sendo qualquer evento significativo destacado como *outlier*, mostrando também que, naturalmente, não é esperado que se ocorra. A variação sazonal (Figura 5) mostra que os meses correspondentes a maior quantidade de FC foram os de dezembro e janeiro (35%). Destaca-se, também, o período sazonal de outubro a abril, representando a primavera e verão no Hemisfério Sul (HS), com cerca de 88% das observações. Esse comportamento está de acordo com o que é encontrado na literatura (por exemplo, Cavalcanti & Kousky, 2009), pois corresponde ao período com maiores taxas de evaporação

e menor precipitação. Apesar dos meses de junho e julho terem apresentado uma queda no acumulado de precipitação, estão inseridos em um período caracterizado pelo maior número de passagens de frentes frias, baixas temperaturas e menor perda evaporativa, o que dificulta o ressecamento do material vegetal, deixando-o menos suscetível aos FC, que corresponderam a 12% do total da amostra (Tassi, 2008).

Em particular, a Figura 5 evidencia a variação mensal da precipitação para região de estudo, em que é possível observar a presença de defasagens entre a queda no acumulado de precipitação e a presença de FC. Ou seja, é preciso de um tempo de resposta para que a queda no acumulado de precipitação influencie o aumento na ocorrência de FC. Para analisar a intensidade dessa relação, foi feita a correlação entre as variáveis, onde fixou-se a média mensal dos FC e variou-se a precipitação média mensal dos meses anteriores, até seis meses (Figura 6). Observou-se então que os meses mais representativos para os FC (dezembro e janeiro) são precedidos por uma queda no acumulado de precipitação, que se inicia três meses antes e apresentam a correlação inversa com valor de -0,61, estatisticamente significativo (defasagem de 3 meses) e diminui gradativamente até o mês anterior. Vale salientar que apesar de a maioria dos IF ter origem antrópica (ICMBio, 2017) o ambiente atmosférico pode condicionar/facilitar o processo de ignição e propagação dos IF.

De modo geral, ao analisar a intensidade da relação entre a ocorrência mensal de FC e a TSM nas regiões dos oceanos Pacífico e Atlântico Adjacente é possível observar que existe uma fraca e moderada relação linear inversa,

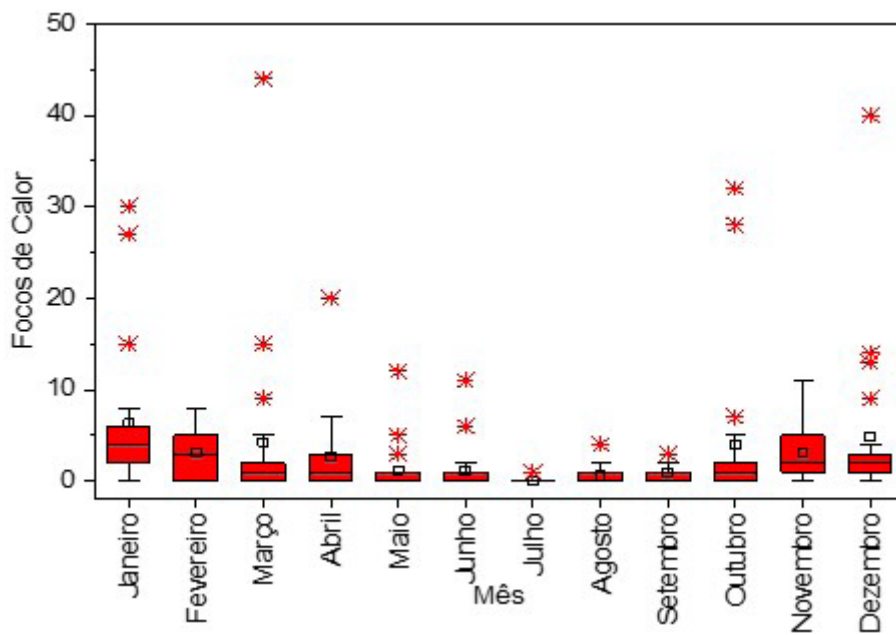


Figura 4 Variabilidade mensal da distribuição de FC durante o período de estudo (junho de 1998 a dezembro de 2018). Asteriscos representam os “outliers” e quadrados a média.

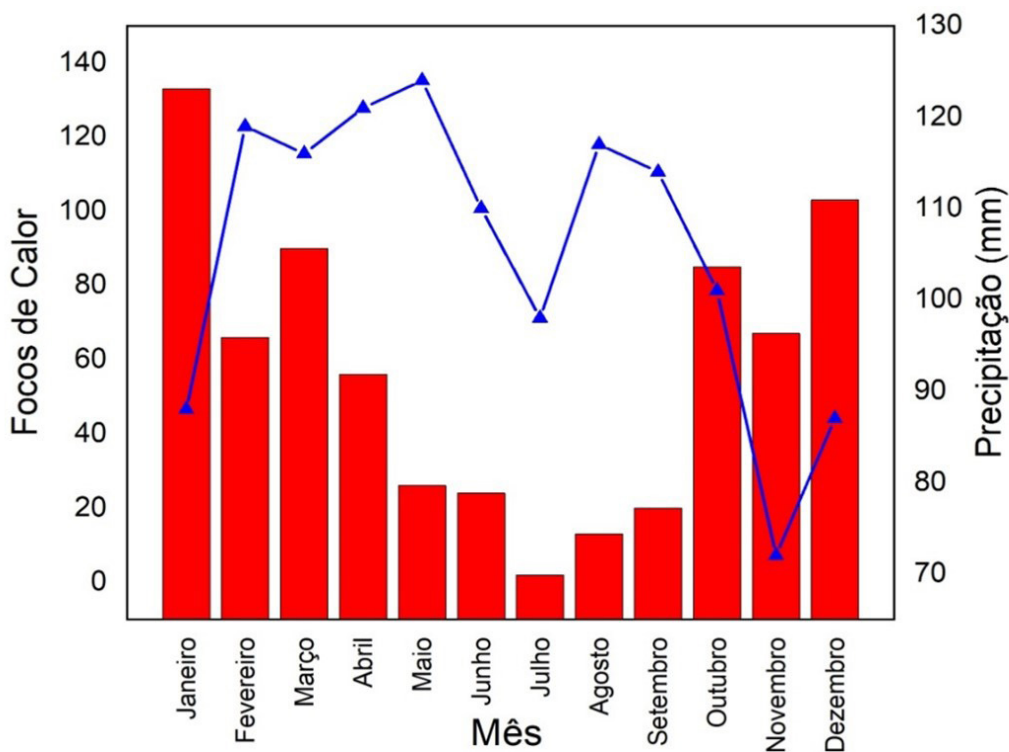


Figura 5 Variação mensal de FC (barras) e precipitação média mensal (linha) para o período de estudo (junho de 1998 a dezembro de 2018).

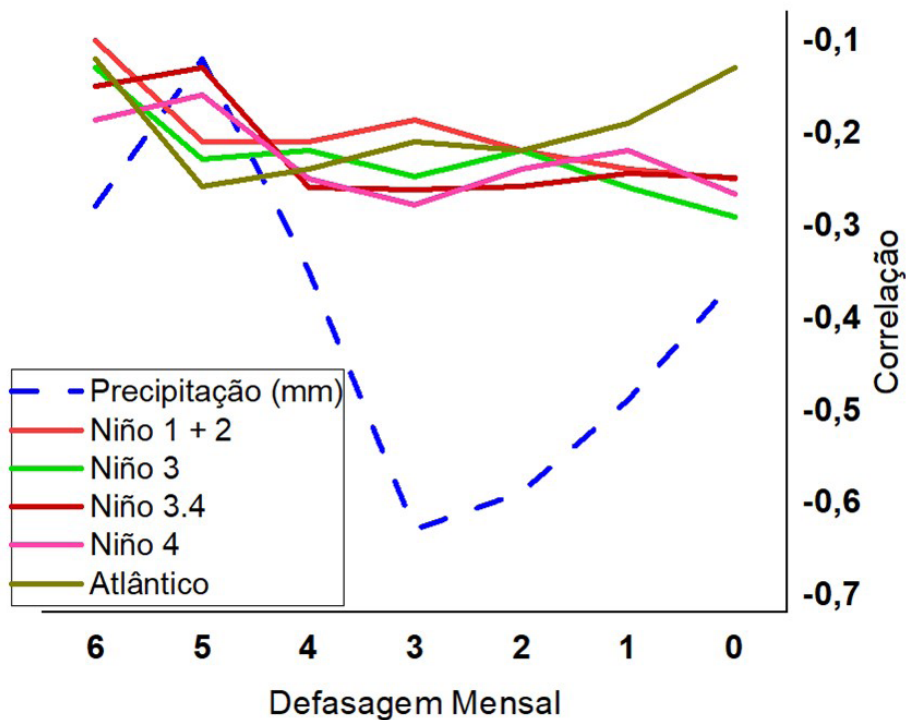


Figura 6 Correlação defasada em até seis meses com dados de precipitação média mensal e anomalia da TSM nas regiões do Niño (1+2, 3, 3.4, 4) e Atlântico Adjacente.

ficando entre -0,1 e -0,3 (Figura 6). Essa fraca relação linear entre a TSM nas regiões do Oceano Pacífico e a ocorrência mensal de FC pode indicar a necessidade de se avaliar outras variáveis (como por exemplo a UR, temperatura do ar, tipo de biomassa disponível e uso dos recursos naturais), uma vez que é sabido da influência do fenômeno ENOS no regime de precipitação na região.

Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura brasileira se referem aos FC para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica (Freitas *et al.*, 2005; Tomzhinski *et al.*, 2011; Caúla *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2016; Clemente *et al.*, 2017). Sendo o período de maior incidência a transição do inverno e primavera para o HS, caracterizado geralmente como um período de baixa precipitação e UR, períodos de estiagem e atuação de massas de ar seco. Para a região de estudo, o período sazonal de maior ocorrência é o da primavera e verão, logo, o regime de FC na ESEC Taim e CN segue um padrão diferenciado do encontrado para os demais biomas do BR (Figura 7). Apesar da maioria dos FC serem registrados na metade norte do BR, incêndios em UC são considerados uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade. Essa ameaça é agravada quando se tratam de áreas relativamente pequenas, que possuam ecossistemas sensíveis, espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Medeiros & Fiedler, 2004); como por exemplo, a ESEC Taim.

#### 4 Conclusões

A discussão apresentada fez uma avaliação da ocorrência de FC durante o período de junho de 1998 a dezembro de 2018 (totalizando 234 meses) para a região

de ESEC Taim e CN. A variação interanual na distribuição de FC na região de estudo apresentou alta variabilidade, destacando-se os anos de 2008, 2013 e 2015, que representaram 30% do total. A variação mensal mostrou que janeiro e dezembro representaram 35% das ocorrências dos FC de toda a série estudada. Ademais, o período sazonal mais comum as ocorrências dos FC foi o da primavera e verão no HS, correspondendo a 88% do total da série. Tais resultados diferem do período preferencial para ocorrência de FC no bioma Pampa, o que sugere haver um regime singular de propensão a ocorrência de FC na região de estudo.

Foi possível observar que existe uma tendência de aumento na ocorrência de FC e de diminuição na precipitação na região de estudo (0,62 FC/ano e -14,9 mm/ano), entretanto, sem significância estatística. Também não foi possível identificar uma relação significativa entre as anomalias de TSM e os FC, apesar do sinal dessa relação indicar que menores anomalias de TSM levam a maiores quantidades de FC. Ainda, as correlações mostraram que períodos com baixa precipitação, iniciadas até três meses antes, podem aumentar a ocorrência de FC, o que evidencia que a atmosfera exerce um papel importante no condicionamento para sua ocorrência. Essa relação mostra que previsões climáticas indicativas de déficits de precipitação podem ser valiosas para a tomada de decisões a respeito da preservação do bioma na região.

#### 5 Agradecimentos

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).*

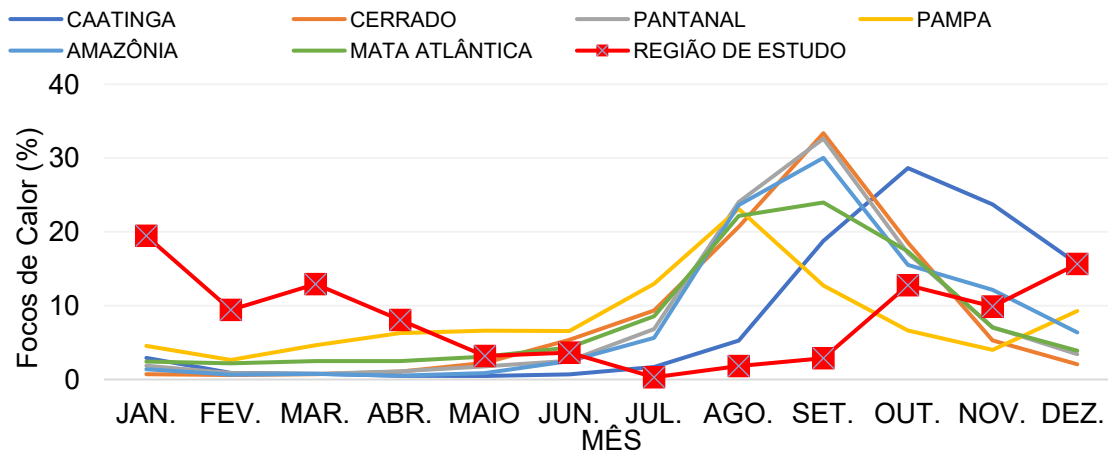


Figura 7 Série histórica de focos de calor por bioma e mês (variação sazonal) detectados pelo satélite de referência, no período de junho de 1998 até dezembro de 2018 e série histórica dos focos de calor na região de estudo (ESEC Taim e CN).



## 6 Referências

- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the southern oscillation in the South America sector - Part II: Upper-Air Circulation. *Journal of Climate*, 21: 341-355.
- Almeida, C.T.; Oliveira, J.F.; Delgado, R.C.; Cubo, P. & Ramos, M.C. 2017. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973-2013. *International Journal of Climatology*, Londres, 37(4): 2013-2026.
- Alonso, M. F. 2011. *Previsão do tempo químico para a América do Sul: Impacto relativo das emissões urbanas nas escalas local e regional*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. Tese de Doutorado em Meteorologia, 218p.
- Andreae, M. O. 1991. Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*, editado por J. S. Levine, MIT Press, Cambridge, p. 3-21.
- Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Fischer, H.; Freitas, S. R.; Grégoire, M. J.; Hansel, A.; Hoor, P.; Kormann, R.; Krejci, R.; Lelieveld, J.; Lindinger, W.; Longo, K.; Perers, W.; Reus, K.; Scheeren, B.; Dias, S. M. A. F.; Strom, J.; Velthoven, P. F. J & Williams, J. 2001. Transport of biomass burning smoke to the upper troposphere by deep convection in the equatorial region, *Geophysical Research Letters*, 28(6):951-954.
- Barbosa, R. I.; Fearnside, P. M. 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 (1997/1998). *Acta Amazônica*, Manaus, 29(4): 513-534.
- Brito, P.; Barbleta, R. & Mendonça, M. 2008. Variabilidade Espacial e Temporal da Precipitação Pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do Fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, 3(s.l). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408>>. Acesso em: 16 fev. 2019.
- Caúla, R. H.; Oliveira, J. J. F.; Lyra, G. B.; Delgado, R. C. & Heilbron, P. F. L. 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74(2): 1497-1508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>
- Cavalcanti, I. F. A. & Kousky, V. E. 2009. Frentes Frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 135-147.
- Chen, M.; Shi, W.; Xie, P.; Silva, V. B. S.; Kousky, V. E.; Higgins, R. W. & Janowiak, J. E. 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation, *Journal of Geophysical Research*. DOI: 10.1029/2007JD009132
- Clemente, S. S.; Júnior, J. F. & Louzada, M. A. 2017. Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(4): 669-677. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324014>
- Corrêa, S. C. 2007. *A influência dos sistemas climáticos sobre os incêndios florestais: estudo de caso: evento de incêndio ocorrido em setembro de 2005 no Jardim Botânico de Brasília*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, 85p.
- Dias, S. 2006. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: Uma síntese de resultados do LBA, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3): 190-199.
- Diniz, F. A. 1998. El Niño e sua influência no período de inverno de 1997 em algumas regiões do Brasil. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 3(27): 771-778.
- Duchiade, M. P. 1992. Poluição do ar e doenças respiratórias: Uma revisão, *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 3(8): 311-330.
- Fearnside, P. M.; Barbosa, R. I. & Pereira, V. B. 2013. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros, *Revista Agroambiente*, 7(1): 95-111.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Alonso, M. F.; Pires, M.; Marecal, V.; Grell, G.; Stockler, R.; Mellor, R. F. & Gacita, S. M. 2011. PREP-CHEM-SRC – 1.0: a preprocessor of trace gas and aerosol emission fields for regional and global atmospheric chemistry models, *Geoscientific Model Development*, 4: 419-433. Doi: 10.5194/gmd-4-419-2011
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Dias, M. A. F. & Dias, P. L. 2005. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul, *Estudos Avançados*, 59(53): 167-185.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M. & Rodrigues, L. F. 2009. Modelagem numérica da composição química da atmosfera e seus impactos no tempo, clima e qualidade do ar, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2): 188-207.
- Giglio Lu.; Descloitres J.; Justice, C. O. & Kaufman, Y. 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS, *Remote Sens Environ*, 87: 273-282.
- Hyde, J. C.; Blades, J.; Hall, T.E.; Ottmar, R. D. & Smith, A. M. S. 2016. Smoke management photographic guide: a visual aid for communicating impacts. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-925. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 59p.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S. & Thépaut, J. 2020, 'The ERA5 global reanalysis', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, p. qj.3803.
- ICMBio. 2010. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade 90p.
- ICMBio. 2017. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Combate a incêndios florestais no País*. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/porta/ultimas-noticias/9156-combate-a-incendios-florestais-no-pais-2>. Acesso em: 10 mai. 2018.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. In: Eggleston,

- H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T. & Tanabe, K. (eds.). *Kanagawa: National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change and Institute for Global Environmental Strategies*.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
- Koproski, L.; Ferreira, M. P.; Goldammer, J. G. & Batista, A. C. 2011. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). *Floresta*, Curitiba, 41(3): 551-562.
- Lapola, D.M.; Silva, J.M.C.d.; Braga, D.R.; Carpigiani, L.; Ogawa, F.; Torres, R.R., Barbosa, L.C.F.; Ometto, J.P.H.B. & Joly, C.A. 2019. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. *Conservation Biology*. doi:10.1111/cobi.13405
- Leite, F. F.; Ganho, N.; Gonçalves, A. B. & Botelho, F. 2017. Iberian atmospheric dynamics and large forest fires in mainland Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247: 551-559. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.033>
- Marques, M. D. & Villanueva, A.O.N. 2001. Regime hidrológico de banhados e sua conservação. *Caderno de Pesquisa Série Biológica*, 13: 63-79.
- Mann, H. B. 1945. *Econometrica*. *The econometric Society*, 13(3): 245-259.
- Medeiros, M. B. & Fiedler, N.C. 2004. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, 14(2): 157-168.
- MMA. 2018. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWl1YyYtZDJIInzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTYzNDY3NTJmMDNINCIsImMiOiJF9>>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- Natalie, G. S. B.; Cascais, L. B.; Silva, L. H. G. & Miura, A. K. 2015. Detecção de áreas queimadas na Estação Ecológica do Taim (RS), causada pelos incêndios de 2008 e 2013. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 21 Jul 2018. “*The Climate Data Guide: CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation*. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cpc-unified-gauge-based-analysis-global-daily-precipitation>>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- Pereira, H. R.; Reboita, M. S & Ambrizzi, T. 2017. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, 32(2): 293-310. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863220011>
- Pereira, M. G.; Trigo, R. M.; DaCamara, C. C.; Pereira, J. M. C. & Leite, S. M. 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129: 11-25. DOI:10.1016/j.agrformet.2004.12.007
- Prins, E.; Feltz, J.; Menzel, W. & Ward, D. 1998. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America. *J. Geophys. Res.*, 103(D24): 31821–31835.
- Rodrigues, J. A.; Libonati, R.; Peres, F. L. & Setzer, A. 2018. Burned Area Mapping on Conservation Units of Mountains Region of Rio de Janeiro Using Landsat-8 Data During the 2014 Drought. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, 41(1): 318-327. DOI:[http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_1\\_318\\_327](http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_318_327).
- Salviano, M. F.; Groppo, J. D.; Pellegrino, G. Q. 2016. Análise de Tendência em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Rev. bras. meteorol.*, São Paulo, 31(1): 64-73. DOI:<https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>.
- Setzer, A. & Pereira, M. 1991. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, (20): 19–22.
- Tassi, R. 2008. *Gerenciamento Hidroambiental de Terras Úmidas*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Porto Alegre, 240p.
- Tomzhinski, G. W.; Coura, P. H. F. & Fernandes, M. C. 2011. Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. *Biodiversidade Brasileira*, 1(2): 201-211.
- Torres, F. T. P.; Lima, G. S.; Costa, A. G.; Félix, G. A. & Júnior, M. R. S. 2016. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. *Floresta*, Curitiba, 46(4): 531-542. DOI: 10.5380/rev.v46i3.44199
- Westerling, A. L.; Gershunov, A.; Brown, B. L.; Cavan, D. R. & Dettinger, M. D. 2004. Climate and wildfire in the western United States. *American Meteorological Society*, 84:595–604.
- Wollman, C.A.; Simoni, J.P.D. & Iense, A.C. 2016. Atlas Climático do Taim: contribuição ao estudo do clima em unidades de conservação. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 27: 30-50.
- OMS. 2019. World Health Organization, Ambient air pollution: Pollutants. Disponível em: <<https://www.who.int/airpollution/ambient/pollutants/en/>>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the atmospheric sciences: an introduction*. San Diego: Academic Press, 470p.