

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DE DOIS ÍNDICES DE SECA NO PARQUE NACIONAL DE ITATIAIA, BRASIL



<https://doi.org/10.22533/at.ed.8901212624118>

Data de aceite: 17/04/2025

Santiago María Márquez Arévalo

Universidade Federal de Viçosa

<https://orcid.org/0000-0002-5195-7414>

Bruna Rodrigues de Sousa

Universidade Federal de Viçosa

<https://orcid.org/0009-0002-7897-2910>

Jesus Padilha

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0009-0009-4559-4766>

Dan Gustavo Feitosa Braga

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0009-0005-7493-1830>

José Luiz Monteiro Benício de Melo

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0009-0006-1282-0227>

Guilherme Henrique Gallo Silva

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0009-0005-0309-8909>

André Jezreel Barros Bandeira

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0009-0005-7987-7220>

Ana Luísa Ribeiro de Faria

Universidade Federal de Viçosa

<https://orcid.org/0000-0002-2169-6452>

Romário de Oliveira Santana

Embrapa Recursos Genéticos e

Biotecnologia

<https://orcid.org/0000-0001-9603-0738>

Marcos Gervasio Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

<https://orcid.org/0000-0002-1402-3612>

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

<https://orcid.org/0000-0003-0063-3521>

Rafael Coll Delgado

Universidade Federal do Acre

<https://orcid.org/0000-0002-3157-2277>

RESUMO: O fogo é um dos elementos essenciais para os ciclos naturais em florestas, porém a ação do homem no planeta ao longo dos séculos tem afetado esses ciclos, forçando uma ocorrência de incêndios florestais em proporções catastróficas. O objetivo geral do estudo foi utilizar dados micrometeorológicos para analisar as ocorrências de incêndios florestais na área do Parque Nacional do Itatiaia e, assim propiciar uma solução eficaz de previsão e monitoramento de

incêndios em área de Mata Atlântica, o bioma brasileiro mais afetado pela ação antrópica. Para isso, realizou-se um levantamento de dois anos (2018 e 2019), com dados da região de velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e imagens de satélite do local da pesquisa em diferentes bandas, a fim de produzir índices de incêndio florestal e índices de umidade do solo. Foram encontrados maiores riscos de incêndio no final do inverno e início de primavera, período de seca de julho até novembro, onde índices de solo seco se encontram com a chegada de massas de ar quente da primavera. O maior valor médio mensal de FFDI ocorreu em setembro (2,14) para 2018, e em janeiro (1,84) para 2019. Os valores de NMDI foram similares para os dois anos.

PALAVRAS-CHAVE: floresta tropical, sensoriamento remoto, dados atmosféricos, perigo de incêndio.

EVALUATION OF TWO DROUGHT INDICES IN ITATIAIA NATIONAL PARK, BRAZIL

ABSTRACT: Fire is one of the essential elements for the natural cycles in forests, but antropic actions on the planet over centuries have affected these cycles, forcing the occurrence of forest fires to catastrophic proportions. The overall aim of the study was to use micrometeorological data to analyze the occurrence of forest fires in the Itatiaia National Park area and thus provide an effective solution for predicting and monitoring fires in the Atlantic Forest, the Brazilian biome most affected by anthropogenic action. To this end, a two-year survey (2018 and 2019) was carried out, using data from the region on wind speed, air temperature, relative humidity and satellite images of the research site in different bands, in order to produce forest fire indices and soil moisture indices. Higher fire risks were found in late winter and early spring, the dry season from July to November, where dry soil indices are found with the arrival of warm spring air masses. The highest average monthly FFDI values occurred in September (2.14) for 2018, and in January (1.84) for 2019. NMDI values were similar for both years.

KEYWORDS: rainforest, remote sensing, atmospheric data, fire danger.

INTRODUÇÃO

As unidades de conservação (UCs) são os principais mecanismos globais para garantir a proteção da biodiversidade (Pontes et al., 2020; Kauano et al., 2020). As UCs, quando bem gerenciadas, mantêm as populações de espécies, reduzem a perda de habitat e conservam a diversidade biológica, especialmente para espécies ameaçadas de extinção (Kauano et al., 2020; Crepaldi et al., 2015; Watson et al., 2014). Além disso, ajudam a regular e mitigar as mudanças climáticas, uma vez que essas áreas armazenam grandes concentrações de carbono (Kauano et al., 2020).

O Brasil detém a maior quantidade de área de ecossistemas tropicais dentro das UCs (Lapola et al., 2019). Apesar da grande importância das UCs, tem-se registro em diferentes países da exploração de madeira e conversão de habitats nessas áreas devido à existência de atividades ilegais, tais como desmatamento e incêndios florestais, que causam a destruição dos habitats (Clerici et al., 2020).

A ocorrência de incêndios florestais em unidades de conservação no Brasil acontece de forma recorrente como é mostrado em trabalhos como o de Benfica et al., (2020); Jesus et al., (2020) e Aximof et al., (2016). Os regimes de incêndio dependem das interações entre clima e vegetação que afetam a disponibilidade de biomassa e a inflamabilidade do material (Dietze et al., 2019).

Para auxiliar na identificação de incêndios florestais foram desenvolvidos sistemas de classificação de perigo de incêndios para fornecer índices numéricos que tentam estimar a intensidade de possíveis incêndios (Chelli et al., 2015; Sharples et al., 2009; Chandler et al., 1983). Índices de risco de fogo são usados em muitas partes do mundo para integrar meteorologicamente e fundir informações em um único ou pequeno número de mensurações como o Forest Fire Danger Rating or Forest Fire Danger Index (FFDI) (Dowdy et al., 2009; Sharples et al., 2009).

Índices espectrais derivados de satélite são amplamente utilizados em pesquisas para inferir as condições de umidade da vegetação, detectar incêndios ativos e monitorar a severidade das secas nos ecossistemas florestais (Swathandran et al., 2019). O Normalized Multi-band Drought Index (NMDI), proposto por Wang et al. (2007) é um índice utilizado em pesquisas sobre monitoramento dos perigos de incêndios florestais, pois garante avaliações mais precisas da severidade da seca na vegetação (Wang e Qu, 2007). Embora haja vários estudos que mostram a influência da seca na ocorrência de incêndios na Mata Atlântica, o NMDI ainda não foi aplicado nessa área.

Usando como referência trabalhos feitos no Parque de Yellowstone na Califórnia (Hammill and Bradstock, 2006), buscamos mensurar focos de incêndios passados, presentes e futuros na região protegida e controlada do Parque Nacional do Itatiaia (PNI), onde índices de seca ainda não foram testados, simulados e validados nesta área de estudo. Contudo, algumas perguntas precisam ser respondidas, para fornecer informações úteis na construção dessas políticas e monitoramento destas áreas prioritárias no PNI, por exemplo: i. O FFDI e NMDI podem ser utilizados para o monitoramento de incêndios florestais no PNI? ii. Qual o índice foi o mais representativo no PNI? Portanto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar e aplicar o uso de dois índices de seca durante os anos de 2018 e 2019.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O Parque Nacional do Itatiaia, criado em 1937, está situado no domínio florestal da Mata Atlântica, abrangendo municípios de Itatiaia e Resende no Rio de Janeiro, Bocaina de Minas e Itamonte em Minas Gerais em uma área total de mais de 28 mil hectares (Figura 1).

Ele apresenta um relevo de características montanhosas com altitude variando de 600 a 2.791 metros e elevações rochosas onde está localizado o Pico das Agulhas Negras com 2.792 metros de altitude. A área do Parque abrange nascentes de 12 importantes bacias hidrográficas regionais, que drenam para duas bacias principais: a do rio Grande, afluente do rio Paraná e a do rio Paraíba do Sul, o mais importante do Rio de Janeiro (ICMBio, 2021; Gonçalves & Santos, 2018).

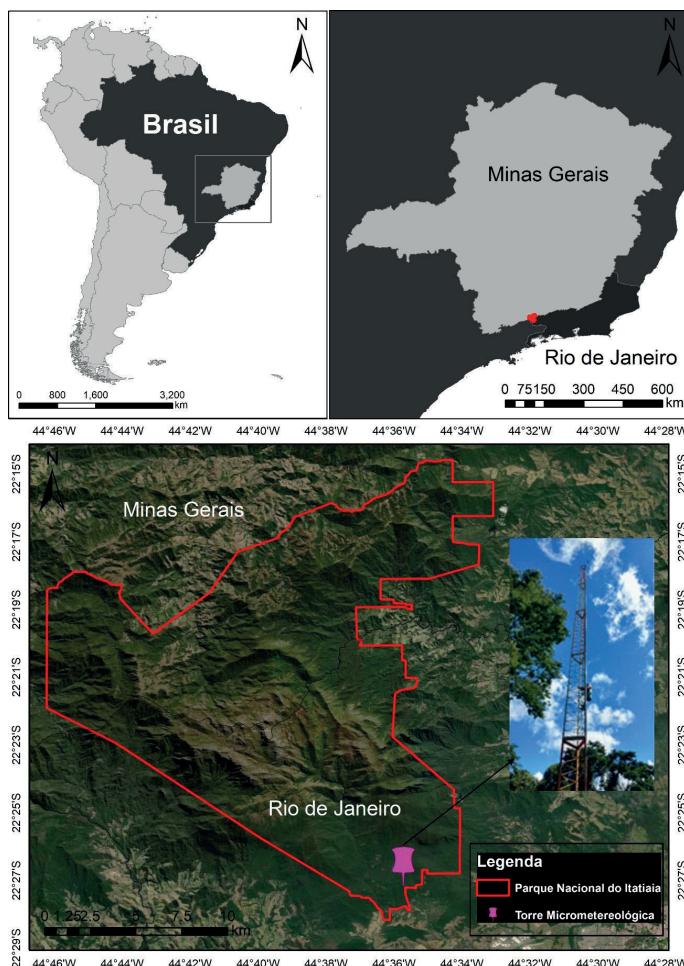


Figura 1. Mapa do território do Parque Nacional do Itatiaia (PNI) e localização da Torre Micrometeorológica usada para pesquisa.

A Mata Atlântica domina a parte baixa com uma Floresta Tropical Ombrófila Mista e os Campos de Altitude acabam se elevando nas partes mais altas. Segundo a classificação de Koppen (Álvares et al., 2013), o PNI possui diferentes tipos de climas (Figura 2), sendo predominantemente o tropical úmido, porém em decorrência da variação de altitude seus verões podem ser quentes, frescos e temperados. A classificação segue como: úmido tropical sem estação seca com verão quente (Cfa); úmido tropical sem estação seca com verão temperado (Cfb); úmido tropical com inverno seco e verão quente (Cwa); úmido

tropical com inverno seco e verão temperado (Cwb) e úmido tropical com inverno seco e verão curto e fresco (Cwc) (Álvares et al., 2013).

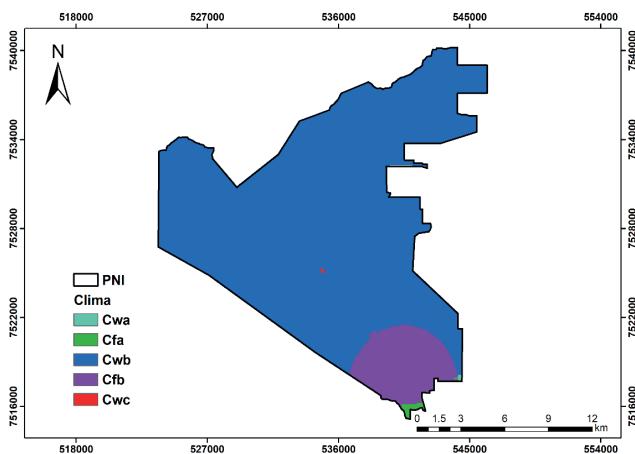


Figura 2. Mapa dos domínios climáticos existentes no PNI.

Dados de superfície e estimativa do FFDI

Instalada em 2015 e em funcionamento desde dezembro de 2017, a torre de fluxo tem uma altura de 30 metros ao longo da qual foram acoplados sensores utilizados nesta e em outras pesquisas (Delgado et al., 2018; Andrade, 2019; Tito, 2019).

O Forest Fire Danger Index do PNI foi estimado para a escala horária, diária e mensal para os anos de 2018 e 2019, para isso foram utilizados os dados micrometeorológicos coletados a 10m de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade (m s^{-1}) e direção do vento ($^{\circ}$). Para o cálculo do FFDI os dados foram tratados e verificados a sua consistência, alguns dados apresentaram falhas “NAN” e foram preenchidos, de acordo, com o horário anterior, e os valores de velocidade do vento foram convertidos de m s^{-1} para km h^{-1} . A variável umidade relativa do ar foi preenchida utilizando a metodologia proposta pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998), onde foi utilizado a temperatura mínima para a estimativa da pressão atual de vapor d' água (ea , kPa) e a temperatura do ar para a estimativa da pressão de saturação do vapor d' água (es , kPa), de acordo com a equação 1 descrita abaixo.

$$UR(\%) = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad (1)$$

Após o tratamento dos dados e os preenchimentos das falhas, O FFDI pode ser obtido pela Equação 2.

$$\text{FFDI} \approx 12.5 \exp\left(0.0234U + \frac{1}{30}(T - H)\right) \quad (2)$$

em que: U = velocidade do vento horário, diária e mensal a 10m de altura (km h⁻¹); T = temperatura do ar horária, diária e mensal (°C); H = umidade relativa do ar horária, diária e mensal (%).

O FFDI foi classificado da seguinte forma (Sharples et al., 2009): 0 < FFDI ≤ 0,7 = baixo; 0,7 < FFDI ≤ 1,5 = moderado; 1,5 < FFDI ≤ 2,7 = alto; 2,7 < FFDI ≤ 6,1 = muito alto; FFDI ≥ 6,1 = extremo.

Produtos de sensoriamento remoto e estimativa do NMDI

Para o cálculo do NMDI mensal dos anos de 2018 e 2019, proposto por Wang et al. (2007), foi utilizado o produto MOD09A1 de 8 dias com resolução espacial de 500m (V006), as bandas 2, 6 e 7 de reflectância do sensor MODIS foram utilizadas para o cálculo do NMDI (Equação 3).

$$|\text{NMDI}: \frac{R0.86\mu m - (R1.64\mu m - R2.13\mu m)}{R0.86\mu m + (R1.64\mu m - R2.13\mu m)} \quad (3)$$

em que, R 0.86μm, R 1.64μm e R 2.13μm representa a reflectância aparente observada por um sensor de satélite nas bandas R 0.86 μm, R 1.64μm e R 2.13μm.

No software R versão 4.3.3, foi gerada uma célula de grade composta pelos valores NMDI para extração dos dados. No final do processo, uma planilha foi gerada em .CSV e os dados foram separados em trimestres climáticos seguindo o padrão: dezembro, janeiro e fevereiro (verão); março, abril e maio (outono); junho, julho e agosto (inverno); setembro, outubro e novembro (primavera).

Em seguida, foi feito o cálculo das médias trimestrais em duas planilhas diferentes separadas pelo ano correspondente aos dados, obtendo 8 médias diferentes, sendo todos dados de ponto de grade com resolução média de 500 metros e resolução espacial, em graus, de 0,00450450500000003°. Os dados foram transportados para o software ArcGis, onde foram adicionados o shapefile do PNI (limite vetorial do parque), as informações de latitude e longitude e os trimestres. Para gerar o mapa, foi feita a interpolação espacial utilizando o interpolador espacial IDW, com a resolução espacial original. Um valor de NMDI mais baixo indica uma alta incidência de seca, enquanto um valor mais alto indica condições úmidas ou não secas (Wang & Qu, 2007). O índice NMDI possui a seguinte classificação: Muito seco (< 0.2), Seco (<0.4), Molhado (0.4 – 0.6) e Muito Molhado (>0.6) (Wang et al., 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variáveis micrometeorológicas

Velocidade do Vento

Tanto para o ano de 2018 quanto para 2019, a velocidade do vento média aumentou no início da primavera e no fim do inverno. Os meses com maior velocidade do vento foram setembro, outubro e novembro, com médias de 2,26 km h⁻¹ a 2,50 km h⁻¹ para 2018 (Figura 3a), e 2,25 km h⁻¹ a 2,39 km h⁻¹ (Figura 3b) em 2019. Os dados de velocidade do vento tiveram uma redução no final do verão e aumento com o início do inverno, fevereiro e junho, respectivamente, apresentando média de 1,95 km h⁻¹, posteriormente chegando ao valor médio de 2,24 km h⁻¹ até o final de dezembro de ambos os anos.

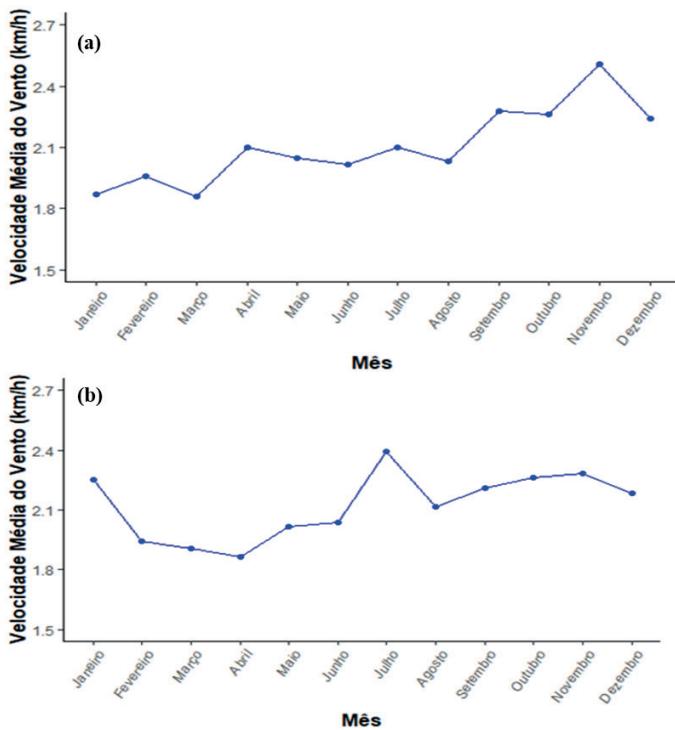


Figura 3. Relação da velocidade do vento em quilômetros por hora (eixo Y) e meses ao longo do ano de 2018 (a) e 2019 (b) (eixo X).

Temperatura média do ar

A temperatura média do ar a 10m no ano de 2018 demonstrou ser maior nos meses de janeiro a março com média de 25,5 °C, onde alcançou a maior taxa do ano no mês de março, com 26,3 °C (Figura 4a). Após março, só houve uma elevação acima dos 20 °C em setembro (22 °C) se estendendo até dezembro (26 °C) com média de 24°C nesse intervalo de tempo.

Em 2019, a temperatura média do ar estabeleceu uma taxa média de 23 °C ao longo de todo o ano, tendo os meses de janeiro e dezembro os maiores valores (28°C e 26°C, respectivamente) (Figura 4b). As menores temperaturas médias mensais ocorreram de junho a agosto, apresentando uma média trimestral de 16 °C (inverno).

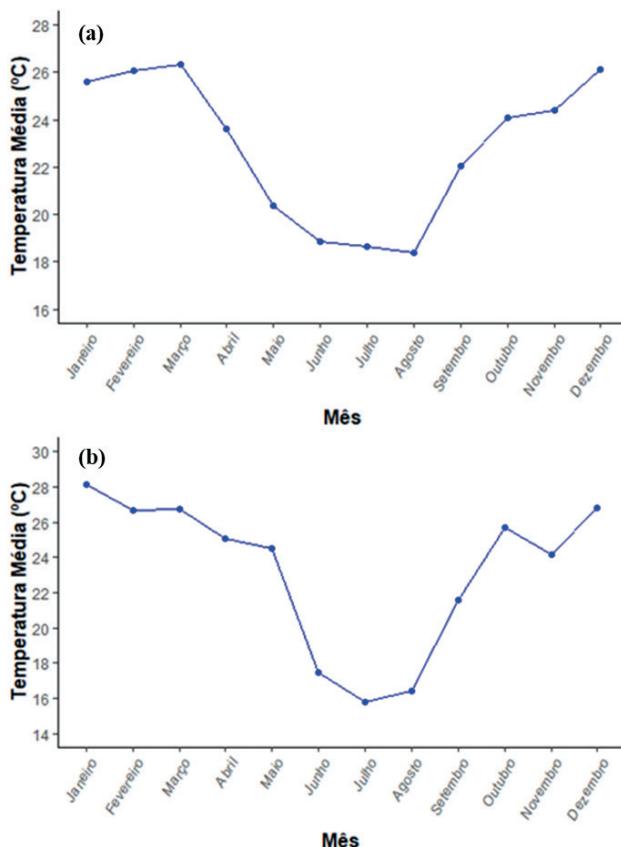


Figura 4. Relação da temperatura média mensal (eixo Y) ao longo de cada mês no ano de 2018 (a) e 2019 (b) (eixo X).

Umidade Relativa do ar

A umidade relativa do ar apresentou média anual de 85,55% no ano de 2018 e 93,05% no ano de 2019. As médias mensais mais elevadas em 2018 ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e dezembro com valores de 89,29%, 89,15%, 89,95% e 89,13%, respectivamente. Os menores índices de umidade ocorreram de maio até julho, naturalmente com correntes de ar mais secas, obtendo média de 82,51% nesse período (Figura 5a).

O período de inverno de 2019 apresentou as maiores taxas médias, estando com média 96% os três. Isso ocorre especialmente como um dos efeitos do El Niño que, segundo o INPE (2021) ocorreu nesse período, fazendo com que grande parte das ondas de ar frio

e seco fossem desviadas em direção ao oceano neste ano. O mês do ano que obteve máxima foi agosto com média de 96,88% de umidade relativa e o mês que obteve mínima foi janeiro com 89,14%. Os meses que apresentaram menores valores médios foram de janeiro a março, chegando a 90,22% de umidade relativa no ano (Figura 5b).

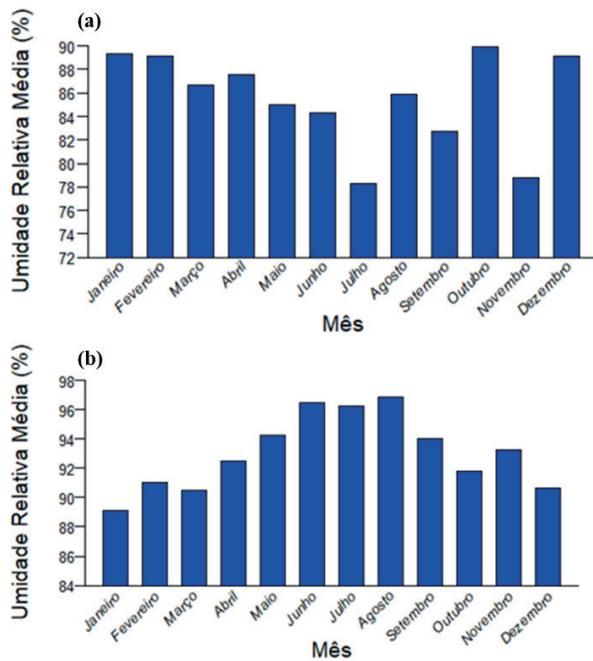


Figura 5. Umidade relativa média mensal (eixo Y) para os anos de 2018 (a) e 2019 (b) (eixo X).

FFDI (horário, diário e mensal)

FFDI 2018

No ano de 2018, o FFDI no mês de setembro foi o que obteve o maior valor horário no ano, com 13,01 (extremo) no dia 01/09 às 16:00h (Figura 6a) e média diária de 3,96, a maior do mês (Figura 6b). Este mês obteve a média mensal mais alta em comparação a outros meses do ano, chegando a 2,14, sendo classificado como Alto. A maior média diária de FFDI ocorreu no dia 20 de maio, avaliado em 4,45 (muito alto) (Figura 7).

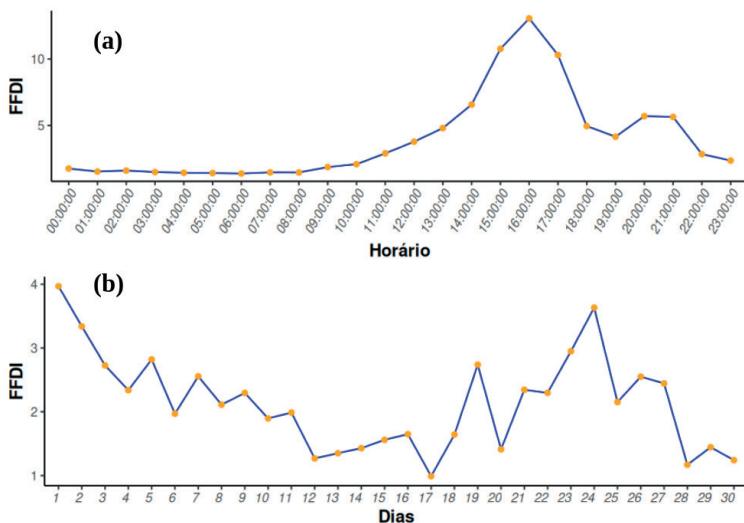


Figura 6. Valores do FFDI (eixo Y) ao longo do dia 01 do mês de setembro (a) e ao longo do mês de setembro (b) de 2018 (eixo X).

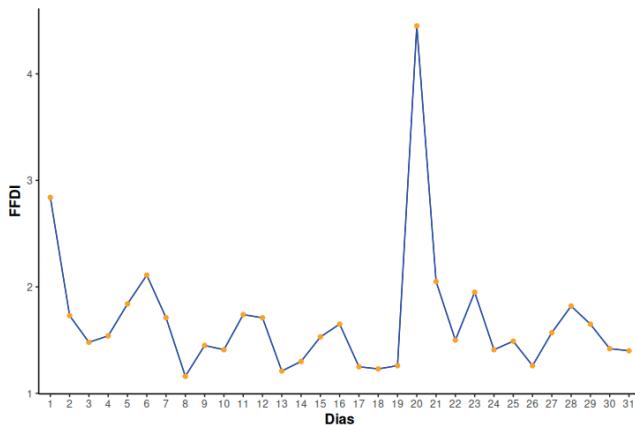


Figura 7. Valores médios de FFDI diário (eixo Y) ao longo do mês de maio (eixo X).

O menor valor horário datado no ano de 2018 foi o de 0,7456 (moderado) no dia 27 de agosto às 06:00h (Figura 8a), ocorrendo no mesmo mês, a menor média diária do ano, que teve seu risco classificado como moderado com 0,8052 no dia 03 de agosto, sendo esse dia marcado por temperaturas baixas e ventos baixos (Figura 8b).

O menor valor horário datado no ano de 2018 foi o de 0,7456 (moderado) no dia 27 de agosto às 06:00h (Figura 8a), ocorrendo no mesmo mês, a menor média diária do ano, que teve seu risco classificado como moderado com 0,8052 no dia 03 de agosto, sendo esse dia marcado por temperaturas baixas e ventos baixos (Figura 8b).

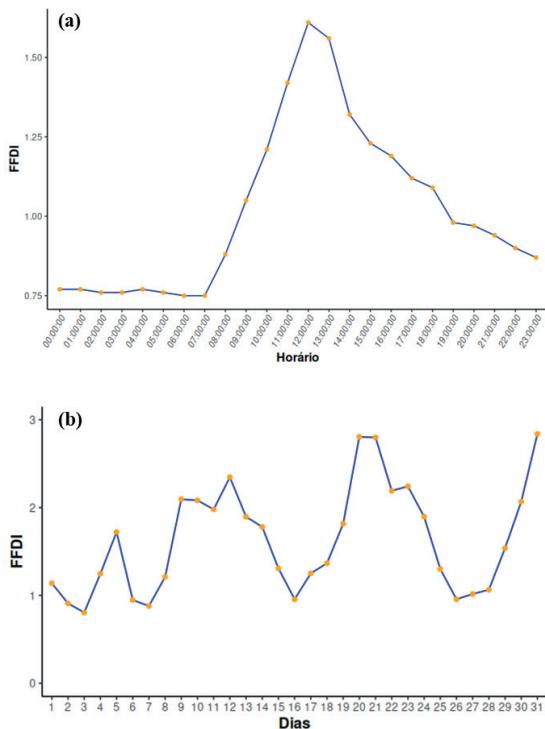


Figura 8. Valores do FFDI (eixo Y) ao longo das horas do dia 27 de agosto , e ao longo do mês de agosto (b) (eixo X) de 2018 , respectivamente (eixo X).

Dentre os meses do ano de 2018, o que obteve menor valor de média mensal de FFDI foi em novembro, com o valor de 1,62 (alto)(Figura 9). Neste mês, ao verificar as demais variáveis, nota-se alta velocidade média do vento e baixa umidade relativa se comparado aos outros meses deste ano de avaliação (vide figuras 3a e 5a).

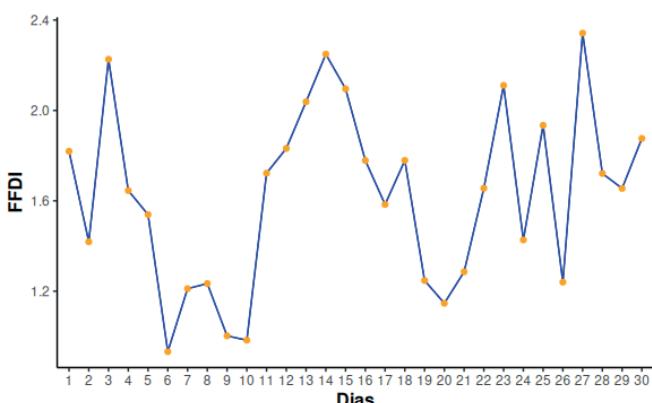


Figura 9. Valores médios de FFDI diário (eixo Y) ao longo do mês de novembro (eixo X) em 2018.

O ano de 2018 apresentou oscilações entre suas estações bem determinadas e características, tendo o menor pico em novembro e o máximo em setembro (Figura 10).

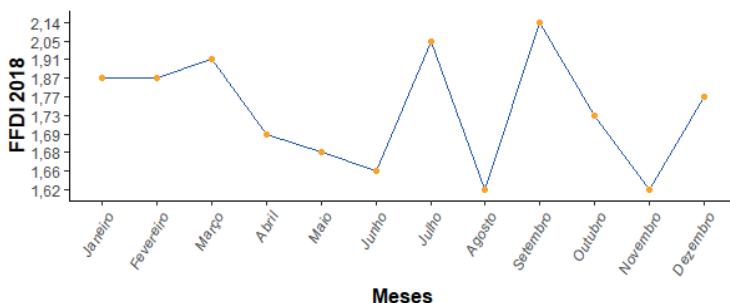


Figura 10. Valores do FFDI (eixo Y) ao longo do ano de 2018 (eixo X).

FFDI 2019

No ano de 2019, o maior valor horário aconteceu no dia 15 de maio às 04:00 chegando a 12,673 (extremo), sendo que em 2018 o valor foi de 4,45 no dia 20 de maio como mostra a Figura 7. Porém, a maior média diária em todo ano, foi no dia 12 de janeiro marcando 2,4176 (alto) (Figura 11), e a maior média mensal ocorreu no mesmo mês de janeiro, chegando ao valor de 1,84 (moderado). Esta é uma época de verão, porém contou com ventos secos e fortes provocados pelo El Niño, junto a uma elevada temperatura.

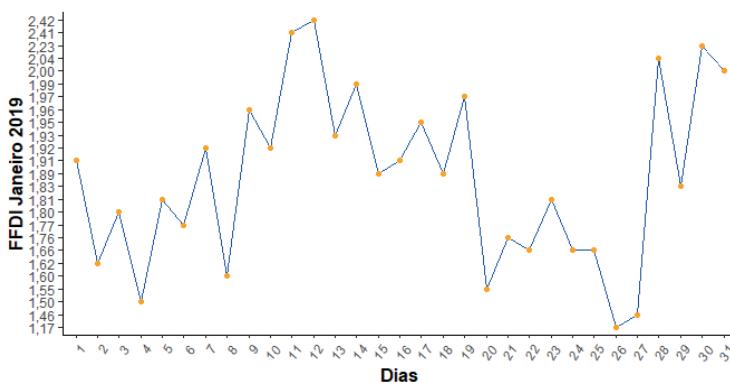


Figura 11. Valores médios de FFDI diário (eixo y) ao longo do mês de janeiro (eixo x)

A menor média mensal no ano foi em agosto 0,9125 (moderado), seguindo a trajetória também com a menor média diária do ano e menor valor horário do ano de 2019. No dia 16 de agosto às 07:00 o FFDI marcou 0,655 (baixo) (Figura 12a), foi seu menor valor horário ao longo de todo ano, e no dia 04 de agosto o valor foi de 0,7145 (moderado) em sua média diária (Figura 12b). Mesmo sendo inverno, com a temperatura baixa, o fator El Niño deixou a umidade alta e o vento baixo.

Ao longo do ano de 2019, as maiores médias mensais ocorreram em janeiro, fevereiro e março, apresentando valores entre 1,69 e 1,84 sendo classificadas como moderado de acordo com a escala. Esse padrão tendeu a decrescer até o fim do verão, em que os valores apresentaram baixas que se estenderam do final do inverno ao início da primavera (Figura 13).

NMDI

NMDI de 2018

Durante o verão de 2018, houve menor área classificada como seca quando comparada às demais estações do ano, tendo sua média de índice classificada como molhado (Figura 14). Demonstrando o maior teor de umidade que ocorre durante o verão no PNI devido ao clima úmido tropical com inverno seco e verão temperado (Cwb). No outono houve aumento da área foliar seca quando comparado ao verão, apresentando menor valor mínimo de Índice, demonstrando que a vegetação perdeu umidade durante essa estação. Já o inverno no PNI apresentou os menores valores de índice, ocasionando aumento da área foliar seca, ocorrendo por influência do clima Cwb. A primavera, por sua vez, apresentou aumento do valor de índice, aumentando a área classificada como úmida e reduzindo a área seca.

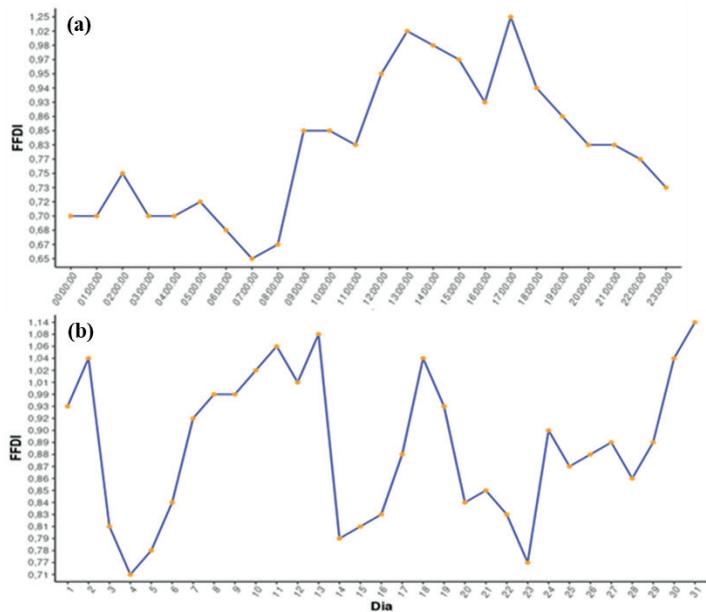


Figura 12. Valores do FFDI (eixo Y) ao longo do dia 16 de agosto (a) e diário ao longo do mês de agosto (eixo X) (b).

Em todas as estações, as áreas que apresentaram maior estresse hídrico foram cobertura foliar de médio e grande porte como campos de altitude, afloramentos rochosos e agricultura enquanto as áreas com menor estresse eram floresta ombrófila densa alta montana e floresta ombrófila densa montana.

NMDI de 2019

No outono houve redução do valor médio mínimo do índice foliar quando comparado com o ano anterior (Figura 14), indicando uma condição de maior estresse hídrico, entretanto houve uma redução da abrangência de áreas com estresse hídrico. O inverno de 2019, assim como no ano anterior, apresentou maior estresse hídrico quando comparado às demais estações. Entretanto, essa estação apresentou um maior valor máximo de índice, indicando que a vegetação está mais úmida quando comparada à mesma estação no ano anterior.

Esse trimestre, assim como em 2018, foi marcado por menores índices de cobertura foliar seca e uma diminuição de área da mesma, onde seu índice de valor médio máximo da cobertura foliar molhada aumenta e sua área de influência expande. Quando comparado à mesma época em 2018, a estação primaveril de 2019 apresenta uma menor proporção de estresse foliar seco em sua área total.

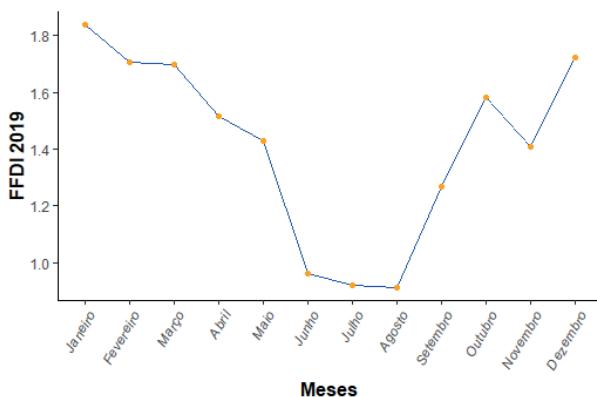


Figura 13. Valores do FFDI mensal (eixo Y) ao longo ano de 2019 (eixo X).

Com exceção do verão, em todas as estações, as áreas com maior estresse hídrico continuam a ser os campos de altitude, afloramentos rochosos e áreas de agricultura, e os de menor as regiões de floresta ombrófila densa alto montana e floresta ombrófila densa montana.

NMDI Geral 2018-2019

Foi observado que o NMDI apresentou certa similaridade durante as épocas no decorrer do ano, houve a constatação de uma maior proporção de valores menores, indicando uma alta incidência de estresse hídrico foliar, em que dados com valor inferiores a 0.4 (classificados como Seco e Muito Seco) ocorreram em maior quantidade de junho a setembro. Esses valores evidenciam uma proporção de maior perda de água nas folhas das plantas, durante a época de inverno, tendo em vista a ocorrência de ventos mais secos e da baixa temperatura que agravam a perda de água foliar.

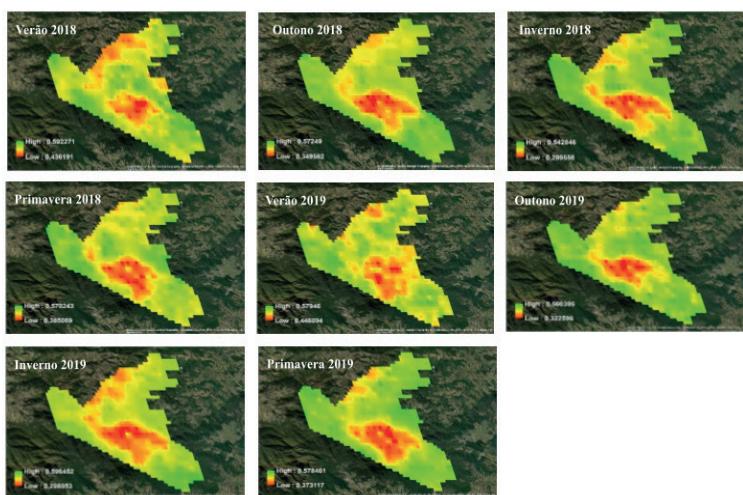


Figura 14. Avaliação do NMDI no PNI por estação do ano

FFDI e NMDI - 2018

No ano de 2018, foi observado que os dados de NMDI do trimestre de inverno tendem a apresentar maiores valores e áreas de estresse foliar ao longo da região do PNI, quando analisado em conjunto com as variáveis meteorológicas, pode-se perceber que esse estresse é causado pelas baixas temperaturas do ar, velocidade de vento e baixos índices mensais de umidade relativa média no ar, que se enquadram na média anual.

Os menores valores de estresse hídrico foliar ocorreram no período de verão desse ano, justamente quando as temperaturas são mais altas em conjunto com uma umidade relativa média alta, agregando uma menor quantidade de matéria vegetal hidratada. O FFDI desse período é classificado como alto, porém a chance de incêndios de grande porte se alastraram pela área pode diminuir, por efeito dos fatores mencionados anteriormente.

Semelhante ao ano anterior, os valores de NMDI de 2019 do PNI demonstraram que durante o inverno, áreas e valores de estresse foliar são encontrados em maiores proporções ao longo da região quando comparado aos demais meses do ano. Contudo, os valores de estresse foliar seco se mostraram menores quando comparados ao ano anterior, visto que sua média máxima de estresse foliar molhado foi maior.

O diferencial do ano de 2019, se deu pela atuação do El Niño sobre o clima da região sudeste, onde as massas de ar, sob efeito do fenômeno, acarretam em uma maior incidência de chuvas, fugindo do padrão da estação na região. O FFDI, que leva em conta essas variáveis meteorológicas, apresentou os menores valores anuais, visto que excepcionalmente por causa do El Niño, a umidade relativa se encontrava alta em conjunto com as temperaturas baixas, típicas no inverno, e por isso o aparecimento e alastramento de focos de incêndio no ambiente foi minado.

CONCLUSÕES

As variações de temperatura média do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, se apresentam bem definidas nas estações ao longo do ano. O FFDI demonstrou similaridade na primavera e verão em ambos os anos estudados, porém na estação do inverno a tendência foi inversa quando comparado 2018 e 2019.

O ano de 2019 foi marcado pela influência do El Niño na região e isto refletiu nos dados micrometeorológicos e no modelo de FFDI desse período. Diferente de 2018, os meses de inverno apresentaram alta umidade relativa do ar, incomum para o inverno seco da região, influenciando diretamente no modelo de FFDI.

Foi constatado que o NMDI vale como um índice representativo, visto que apresentou os maiores valores de estresse foliar nas mesmas áreas ao longo de 2018 e 2019, onde campos de altitude, afloramentos rochosos e áreas de agricultura foram as partes do PNI que apresentaram índices mais elevados de estresse foliar na região.

Somado às condições micrometeorológicas que influenciam diretamente a secura das folhas na região, os locais citados se mostram como os pontos de mais urgência para monitoramento de risco de incêndio florestal no PNI. As áreas que apresentaram menor presença de estresse hídrico foram as regiões de Floresta Ombrófila Densa Alta Montana e Floresta Ombrófila Densa Montana, independente da estação e ano.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56.** Fao, Rome, 300(9), D05109. Acessed in: 20 March 2021. < https://www.scs court.org/complexcivil/105CV049053/volume3/172618e_5xAGW Ax8.pdf>.
- ÁLVARES, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G., 2013. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteor. Zeitsc. 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDRADE. **Avaliação do produto MOD11A2 para o monitoramento da temperatura do dossel florestal em área de Mata Atlântica,** Brasil. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- AXIMOFF, Izar; NUNES-FREITAS, André Felipe; BRAGA, João Marcelo Alvarenga. **Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia**, sudeste do Brasil. Oecologia Australis, v. 20, 2016.
- BENFICA, Nayanne Silva et al. **Validação do Produto de Área Queimada MCD64A1 de Resolução Moderada.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 91164-91171, 2020.
- CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L.; WILLIAMS, D. **Fire in forestry. v1. Forest fire behavior and effects. v2. Forest fire management and organization.** John Wiley & Sons, Inc. 1983.
- CHELLI, S., Maponi, P., Campetella, G., Monteverde, P., Foglia, M., Paris, E., ... & Panagopoulos, T., 2015. **Adaptation of the Canadian fire weather index to Mediterranean forests.** Natural Hazards, v. 75, n. 2, p. 1795-1810. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1397-8>
- CLERICI, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., ... & Gómez, C., 2020. **Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods.** Scientific reports, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>
- CREPALDI, M. O. S., Pinto, L. P., Lamas, I. R., Fonseca, M. Mesquita, C.A.B., 2015. **Joias do patrimônio natural das unidades de serviço do Corredor Central da Mata Atlântica.** 1ed. Belo Horizonte: Conservação Internacional. Available at: <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2sem2015/outubro/Uma%20Rede%20no%20Corredor.pdf>.
- DELGADO, R.C; PEREIRA, M. G.; TEODORO, P. E.; DOS SANTOS, G. L.; CARVALHO, D. C.; MAGISTRALI, I. C.; VILANOVA, R. S. **Seasonality of gross primary production in the Atlantic Forest of Brazil.** Global Ecology and Conservation, v. 14, 2018, e00392.
- DIETZE, E., Mangelsdorf, K., Andreev, A., Karger, C., Hopmans, E. C., Schreuder, L. T., ... & Herzschuh, U, 2019. **ANHYDROSUGARS IN SEDIMENTS OF LAKE EL'GYGYTGYN-FIRE REGIME RECONSTRUCTIONS OF NE SIBERIA DURING THE LAST TWO INTERGLACIALS.** In: 29th International Meeting on Organic Geochemistry.
- DOWDY, A., Finkele, K., Mills, G.A. and de Groot, B. 2009. **Australian fire behaviour as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index.** CAWCR Technical Report No. 10.

El Niño e La Niña - CPTEC/INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

GONÇALVES, Mateus Tomás Anselmo; SANTOS, N. D. **Campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: um hotspot para briófitas. Diversidade e Gestão**, v. 2, p. 90-105, 2018.

Hammill, K. A.; Bradstock, R. A. **Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire in intensity**. International Journal of Wildland Fire, 2006, 15, 213-226.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (01 de julho de 2021). Parque Nacional do Itatiaia. Disponível: <http://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia>

JESUS, Janisson Batista de et al. **Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil**. Ciência Florestal, v. 30, p. 176-191, 2020.

KAUANO, É. E., Silva, J. M. C., Diniz Filho, J. A. F., & Michalski, F., 2020. **Do protected areas hamper economic development of the Amazon region? An analysis of the relationship between protected areas and the economic growth of Brazilian Amazon municipalities**. Land Use Policy, 92, 104473. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104473>

LAPOLA, D. M., Silva, J. M. C. D., Braga, D. R., Carpigiani, L., Ogawa, F., Torres, R. R., ... & Joly, C. A., 2020. **A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas**. Conservation Biology, 34(2), 427-437. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – ICMBio; Parque Nacional do Itatiaia. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, N o 15, https://web.archive.org/web/20171006061714/http://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/images/stories/boletins_de_pesquisa/bpni_v15_2.pdf

SHARPLES, J. J., McRae, R. H. D., Weber, R. O., & Gill, A. M, 2009. **A simple index for assessing fire danger rating**. Environmental Modelling & Software, v. 24, n. 6, p. 764-774. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.004>

SWATHANDRAN, S; Aslam, M.A.M. **Assessing the role of SWIR band in detecting agricultural crop stress: a case study of Raichur district, Karnataka, India**. Environmental monitoring and assessment, v. 191, n. 7, p. 442, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7566-1>.

TITO. **Estimativas de evapotranspiração através de sensoriamento remoto e métodos empíricos para o estado do Rio de Janeiro e Parque Nacional do Itatiaia. 2019**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

WANG, L.; Qu, J.J; Xiong, J; Hao, X; Xie, Y; Che, N.A **New Method for Retrieving Band 6 of Aqua MODIS**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters v.3, p.267-270, 2007. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2006.869966>.

WANG, L; Qu, J.J. **NMDI: a normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing**. Geophysical Research Letters, v.34, p.204-205, 2007. <https://doi.org/10.1029/2007GL031021>.

WATSON, J.E.M., Dudley, N., Segan, D.B., Hockings, M., 2014. **The performance and potential of protected areas**. Nature 515, 67–73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>.