

## **Análise das condições ambientais na Serra do Cipó como ferramenta para o combate aos incêndios florestais**

**Guilherme Martins, Fabiano Morelli, Mateus Macul, Paulo Cunha**

<sup>1</sup>Divisão de Satélites e Sensores Meteorológicos (DISSM)  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Caixa Postal 515 – 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil  
{guilherme.martins, fabiano.morelli, mateus.macul,  
paulo.cunha}@inpe.br

***Abstract.** This work analyzed data of precipitation, days without rain, fires, fire risk, temperature, relative humidity, speed and direction of the wind in the Serra do Cipó region. The analyzes allowed us to understand the monthly and daily pattern of environmental conditions in the study area. The months of June, July and August are the driest period of the year and with the greatest risk of fire. On the other hand, the frequency of days with conditions of relative humidity, temperature, wind speed and precipitation favorable to fire is rare. Therefore, this characterization made it possible to identify times of the year and critical points of important meteorological parameters for the prevention and combat of fires in Serra do Cipó.*

***Resumo.** Este trabalho analisou dados de precipitação, dias sem chuva, focos de queimadas, risco de fogo, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento na região da Serra do Cipó. As análises permitiram compreender o padrão mensal e diário das condições ambientais na área de estudo. Os meses de junho, julho e agosto compõe a época do ano mais seca e com maiores risco de fogo. Por outro lado, é rara a frequência de dias com condições de umidade relativa, temperatura, velocidade do vento e precipitação favorável ao fogo. Portanto, esta caracterização possibilitou identificar épocas do ano e pontos críticos de parâmetros meteorológicos importantes para a prevenção e combate de incêndios na Serra do Cipó.*

### **1. Introdução**

As informações ambientais oriundas de satélites, reanálises ou até mesmo medidas in situ podem ser utilizadas para diferentes fins, desde o monitoramento de condições meteorológicas extremas associadas com enchentes ou secas [Marengo et al., 2021], bem como para estudos de longo prazo [Marengo et al., 2021]. O entendimento dessas variáveis torna possível, por exemplo, o seu uso no combate aos incêndios florestais, uma vez que não se dispõem de estações meteorológicas capazes de registrar esses dados nos parques nacionais brasileiros dada a burocracia associada à sua instalação bem como sua manutenção. Logo, tanto dados de satélite quanto de reanálises são excelentes aproximações das condições reais da atmosfera e que podem ser utilizadas na ausência de medições in situ. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi analisar as condições ambientais a partir de dados de satélite e de reanálise na Serra do Cipó/MG utilizando 18 anos (2003-2020) de dados diários.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Área de estudo

O Parque Nacional da Serra do Cipó está situado na área central do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 19° 12' e 19° 34' latitude sul e 43° 27' e 43° 38' longitude oeste, na parte sul da Cadeia do Espinhaço. Localiza-se nos municípios de Jaboticatubas, Santana do Riacho, Morro do Pilar e Itambé do Mato Dentro e faz divisa com Itabira. Está distante de Belo Horizonte cerca de 100 km por estrada na direção nordeste do Estado. A área total do Parque Nacional da Serra do Cipó é de aproximadamente 34.000 hectares, com um perímetro aproximado de 154 km.

### 2.2. Dados

Os conjuntos de dados diários utilizados nesse trabalho correspondem ao período de 01/01/2003 a 31/12/2020 e foram convertidos para médias mensais (Figura 1), com exceção dos focos de queimadas e da precipitação que são médias mensais obtidas a partir dos acumulados mensais. As figuras 2 e 3 utilizam dados diários por se tratar de uma análise de frequência.

Os dados diários de precipitação do MERGE/CPTEC são resultados da combinação entre estimativas via satélite e dados observados à superfície de diferentes estações meteorológicas no Brasil. Sua resolução espacial é de 10 km x 10 km [Rozante et al., 2010]. Esses dados estão disponíveis para download em <<http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM/DAILY>>. A partir da precipitação, calculou-se o Número de Dias Consecutivos Sem Chuva para cada mês dos anos 2003 a 2020. Para considerar um dia com sem chuva, utilizou-se o limiar de precipitação menor igual a 1 mm/dia.

Os focos de queimadas diários na vegetação foram obtidos a partir do produto MYD14, coleção 6, detectados em imagens do satélite Aqua a bordo do sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [Giglio et al., 2016]. Os focos são representados por píxeis que mostram a ocorrência de fogo ativo durante a passagem do satélite e têm resolução espacial de 1 km x 1 km. Os focos foram obtidos no portal do Banco de Dados de Programa Queimadas do INPE, disponível em <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>.

O Risco de Fogo estima o risco diário de fogo em uma dada região a partir da combinação entre o número de dias sem chuva em um intervalo de 120 dias, temperatura máxima, umidade relativa mínima, efeito topográfico, efeito latitudinal e o tipo de vegetação [Setzer et al., 2019]. O RF não considera os efeitos da direção e da velocidade do vento, pois estas variáveis estão relacionadas à propagação do fogo. O modelo de RF na resolução espacial de 1 km x 1 km é um produto do Programa Queimadas do INPE (<http://www.inpe.br/queimadas>), desenvolvido na Divisão de Previsão de Tempo e Clima (DIPTC).

As informações diárias de temperatura e de umidade relativa, ambas a 2 metros e de velocidade do vento a 10 metros são do ERA5 que representa a mais recente reanálise produzida no ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [Hersbach et al., 2020]. Essa fonte de dados fornece informações em alta qualidade da atmosfera global, oceânica e da superfície terrestre disponível em

intervalos horários, com 137 níveis de pressão vertical e resolução horizontal de aproximadamente 25 km.

A separação da velocidade do vento em classes (Figura 3b) foi feita com base na referência da Organização Meteorológica Mundial (OMM) disponível em <[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=12407#.YSUoN45KiMp](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.YSUoN45KiMp)>.

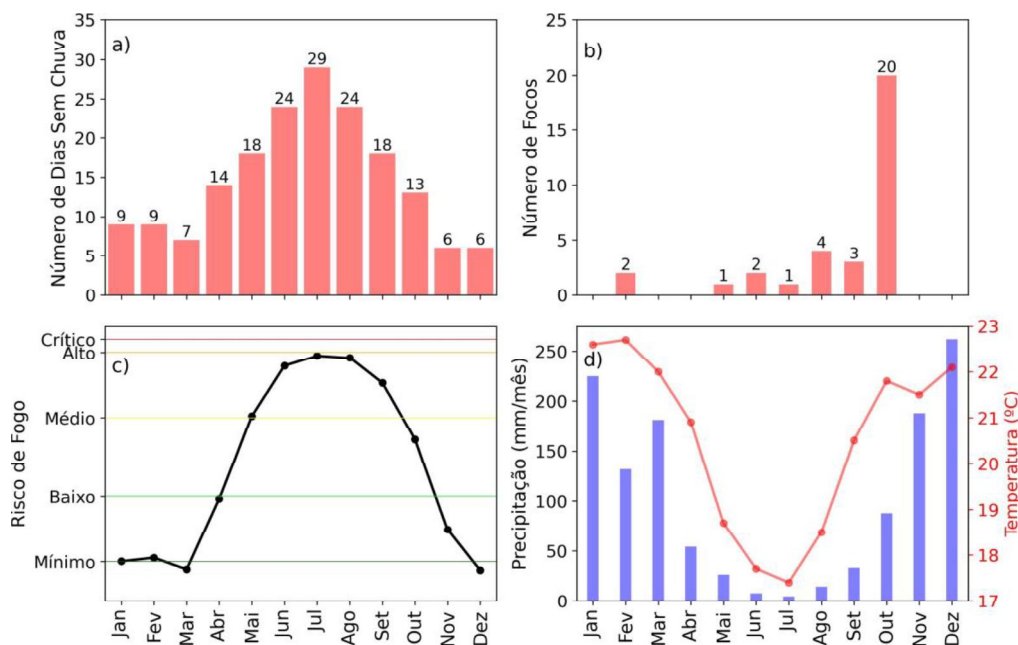
### 3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra as condições médias (2003-2020) do ponto de vista ambiental na Serra do Cipó. Nota-se na Figura 1a que o trimestre junho (24 dias), julho (29 dias) e agosto (24 dias) é o mais crítico, e julho, na média, é o mês com as maiores quantidade de número de dias consecutivos sem chuva. Do ponto de vista dos focos de queimadas (Figura 1b) o mês de outubro é o mais crítico, com detecção média de 20 focos enquanto que os demais meses não são expressivos. O Risco de Fogo (Figura 1c) apresenta o mesmo comportamento temporal do número de dias sem chuva, isto é, com o trimestre junho, julho e agosto apresentando risco alto que é favorável à ocorrência de queimadas do ponto de vista meteorológico. O Risco de Fogo é fortemente influenciado pela precipitação e isso é evidenciado pelos resultados mostrados. E por fim, a Figura 1d corrobora as informações de número de dias consecutivos sem chuva e de risco de fogo mostrando que os meses de precipitação mais secos ocorrem no trimestre já citado anteriormente e essa variável é maior tanto no fim quanto no início do ano. A temperatura também acompanha esse comportamento com temperaturas menores no meio do ano e máximas nos meses iniciais e finais. De uma forma geral, as informações médias são bastante úteis porque fornecem elementos ambientais importantes sobre uma determinada localidade de estudo. E ao mesmo tempo podem ser utilizadas tanto para medidas de mitigação quanto no combate aos incêndios florestais.

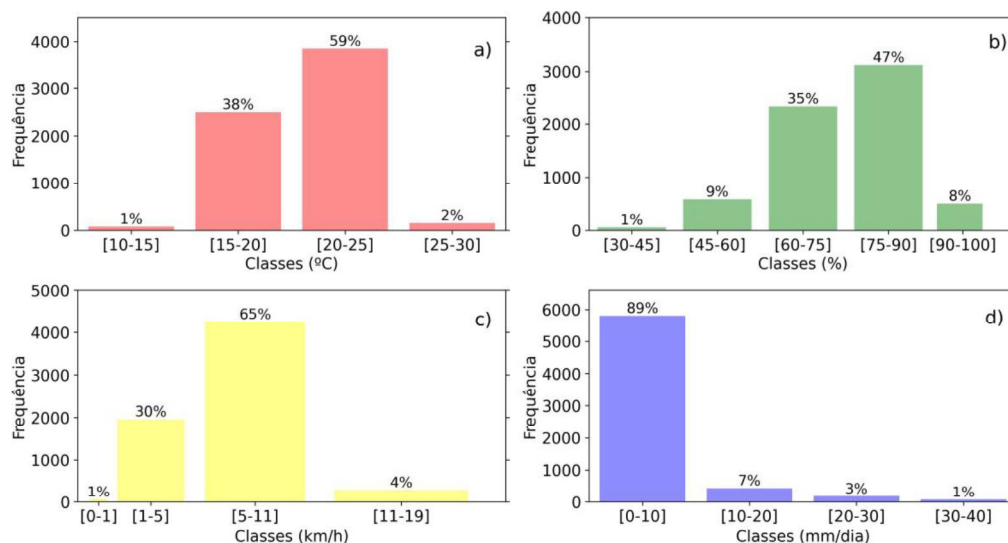
A partir dos dados diários de 01/01/2003 a 31/12/2020 é gerada a Figura 2 que representa a frequência para cada uma das classes. O eixo y corresponde a frequência e na parte superior das barras é mostrado o valor percentual. Na Figura 2a, cerca de 59% dos registros de temperatura estão no intervalo entre 20-25°C e 38% no intervalo entre 15-20°C. Os valores mais extremos estão no intervalo de 25-30°C e representam apenas 2%. Um dos elementos que favorecem à ocorrência de queimadas são temperaturas elevadas, principalmente aquelas acima de 30°C e as temperaturas elevadas causam o secamento do material combustível disponível para a queima. A umidade relativa (Figura 2b) por sua vez, mostra que os intervalos mais frequentes são aqueles entre 75-90% (47%) e 60-75% (35%). Quando a umidade relativa é inferior a 30% ocorre um grande potencial para ocorrer uma queimada e esse valor está incluso no intervalo que representa apenas 1% dos registros, isto é, aquele entre 30-45%. Uma vez que há condições ambientais para iniciar um incêndio florestal, o cuidado que se deve ter está associado à sua propagação, por isso a Figura 2c mostra qual o intervalo de velocidade em km/h é mais frequente e cerca de 65% da velocidade encontra-se no intervalo entre 5-11 km/h. Um máximo secundário é responsável por 30% da velocidade entre 1-5 km/h. As velocidades mais intensas (entre 11-19 km/h) não ultrapassam 4%, e ainda assim, são capazes de ocasionar o espalhamento do fogo causando prejuízos a flora e a fauna, bem como danos materiais, sociais e econômicos. As menores velocidades, isto é, entre 0-1 km/h representam apenas 1%. Com relação à variável precipitação (Figura 2d), cerca de 89% dela encontra-se na classe de valores entre 0-10 mm/dia. Por outro lado, os valores extremos (entre 30-40 mm/dia) são raros e representam apenas 1% dos

registros, nesse levantamento foi possível identificar que existem chuvas volumosas na Serra do Cipó. Por meio da Figura 2, foi possível ter uma visão geral dos limiares meteorológicos mais frequentes na Serra do Cipó, principalmente, aqueles associados aos intervalos máximos de temperatura e mínimo de precipitação porque são elementos chave no monitoramento para evitar a ocorrência de incêndios florestais. Portanto, uma vez conhecidos os limiares mais críticos das variáveis monitoradas e no caso desses limiares serem ultrapassados, medidas de prevenção e combate ao fogo devem ser adotados.

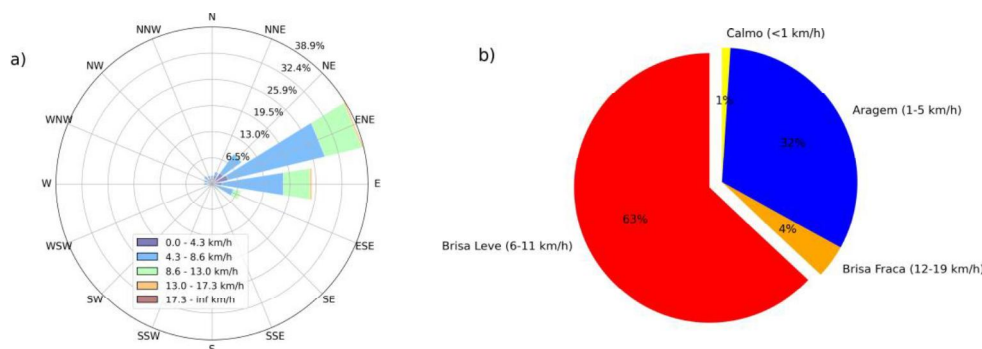
A partir dos dados diários de 01/01/2003 a 31/12/2020 é obtida a frequência da direção e velocidade do vento (Figura 3). Nota-se a predominância da direção (Figura 3a) ENE (East-Northeast) com máximo secundário de E (East). É importante salientar que o vento é de onde ele vem e não para onde ele vai, ou seja, a direção de onde o vento vem é de ENE e segue para WSW (West-Southwest). Essa predominância de direção é decorrente do sistema de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul que está localizado em torno de 30°S que contribui ou não (depende da época do ano) para a entrada de umidade no continente [Satyamurty et al., 1998]. Ao realizar a categorização da velocidade do vento (Figura 3b) em classes, encontram-se quatro que variam desde velocidades abaixo de 1 km/h até 19 km/h. Porém, a classe brisa leve, a mais predominante, é aquela em que a velocidade está entre 6-11 km/h com 63% de predominância. Logo em seguida, tem-se a classe aragem com 32% de ocorrência contida no intervalo entre 1-5 km/h. As velocidades mais intensas correspondem a 4% do total e variam entre 12-19 km/h. De certa forma, as diferentes classes favorecem ao espalhamento do fogo em maior ou menor intensidade.



**Figura 1. Média mensal (2003-2020) de (a) Número de Dias Sem Chuva, (b) Focos de Queimadas, (c) Risco de Fogo e (d) Precipitação (mm/mês) e Temperatura (°C) na Serra do Cipó/MG.**



**Figura 2. Histograma de (a) Temperatura (°C), (b) Umidade Relativa (%), (c) Velocidade do vento (km/h) e (d) precipitação (mm/dia) na Serra do Cipó/MG. A frequência foi feita utilizando os dados diários. O eixo y representa a frequência e no topo das barras está o valor percentual.**



**Figura 3. (a) Direção (graus) e velocidade (km/h) predominante do vento e (b) classificação da velocidade do vento na Serra do Cipó/MG. A frequência foi feita utilizando os dados diários.**

#### 4. Conclusão

Neste trabalho foi feito um estudo a partir de dados diários entre os anos 2003 e 2020 utilizando diferentes variáveis ambientais na Serra do Cipó por meio de análises de valores médios mensais e de frequências. Os resultados mostraram que os valores médios mensais podem ser utilizados como informações de mitigação e de combate aos incêndios florestais. Isso ocorre porque a partir do monitoramento diário que fornece os valores observados é possível realizar a comparação com os valores médios e assim mensurar a sua magnitude para mais ou menos. A análise de frequências das variáveis meteorológicas a partir dos dados diários evidenciou as classes mais importantes, bem como aquelas mais extremas que representaram as menores porcentagens. Conhecer essas classes mais extremas é importante porque são os limiares em que os incêndios

florestais ocorrem com mais frequência, ou seja, temperaturas mais elevadas, maior velocidade do vento, baixa umidade relativa e precipitação. A direção predominante na Serra do Cipó é de ENE (East-Northeast) por conta da atuação do sistema de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul que dependendo da época do ano é responsável pela entrada de umidade nesse local.

### Referências

- Giglio, L., Schroeder, W., Justice, C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sens Environ*, v. 178, p. 31-41, 2016.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Horanyi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Vamborg, F., Abdalla, S., Balsamo, G., Bechtold, P., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Dragani, R., Diamantakis, M., Flemming, J., Forbes, R., Geer, A., Holm, E., Haimberger, L., Hogan, R., Janiskova, M., Laloyaux, P., Lopez, P., de Rosnay, P., Thépaut, J., and Villaume, S.: The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, p. 1999-2049, 2020.
- Marengo JA, Cunha AP, Cuartas LA, Deusdará Leal KR, Broedel E, Seluchi ME, Michelin CM, De Praga Baião CF, Chuchón Ângulo E, Almeida EK, Kazmierczak ML, Mateus NPA, Silva RC and Bender F (2021) Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3:639204.
- Rozante, J. R., Moreira, D. S., Gonçalves, L. G. G., Vila, D. A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, p. 885-894, 2010.
- Satyamurty, P., Nobre, C. A., Silva Dias, P. L. Tropics - South America. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. American Meteorological Society, Boston, p. 119-139, 1998.
- Setzer, A.W., Sismanoglu, R.A., Santos, J. G M. Método do cálculo do risco de fogo do programa do INPE - versão 11, junho/2019. Disponível em <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UEDKUB>>. INPE, 2019.