



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Incêndios vegetacionais e relações hidroclimáticas em bacias hidrográficas no sudeste da Amazônia

Wanderson Carvalho da Silva¹, Adilson Pacheco Souza³, André Jasper³

¹Professor Assistente I do quadro permanente da Universidade do Estado do Pará - UEPA. Doutorando em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento - PPGAD da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. Mestre em Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos - PPGRH da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT (2009), Bacharel e Licenciado em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT (2008/2007). E-mail: wandersoncarvalho@uepa.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8661-4406>

²Professor Associado II da Universidade Federal de Mato Grosso, lotado no Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais do Campus Universitário de Sinop, desde janeiro/2010. Possui Doutorado (2012) e Mestrado (2009) em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela FCA/UNESP e graduação em Engenharia Agrícola (2007) pela UFRRJ. E-mail: pachecoufmat@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4076-1093>

³Professor Titular da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES [Instituição Comunitária de Educação Superior (ICES)], Lajeado, RS. É graduado em Ciências Biológicas pela UNISINOS, Mestre e Doutor em Ciências (Geociências), E-mail: ajasper@univates.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8143-9733>

Artigo Recebido 09/03/2024 e aceito em .26/05/2024

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar as relações existentes entre os elementos do clima e a sazonalidade de índices de perigo de incêndios e da ocorrência de focos de calor, em três bacias hidrográficas da região Sudeste da Amazônia, afluentes do rio Xingu. Foram avaliados os índices de perigo de incêndio de Angstrom, FMA+ e P-EVAP, com dados meteorológicos diários de 63 estações meteorológicas automáticas da rede de estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Agritempo/EMBRAPA, entre os anos de 2017 e 2021. As bacias hidrográficas dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco apresentaram sazonalidade climática semelhante, com estação chuvosa entre outubro e abril, e estação seca entre maio e setembro. Dessa forma, os índices de perigo de incêndio demonstraram comportamento sazonal semelhante. O índice de Angstrom demonstrou que entre junho e setembro, o número de dias com perigo de incêndio é igual ou superior a 84%. O índice FMA+, apontou que nesse mesmo período, 100% dos dias, independentemente da bacia hidrográfica, estão nas classes de perigo alto e muito alto. O índice P-EVAP, revelou que entre junho e agosto, 97,43% dos dias apresentam perigo alto ou muito alto de incêndio. Os focos de calor estiveram concentrados nos meses de estiagem para as bacias hidrográficas dos rios Culuene (92,8%), Comandante Fontoura (70,9%) e Fresco (89,1%). Dentre os três índices analisados, o índice de perigo de incêndio P-EVAP, conforme os valores do Skill Score e da porcentagem de sucesso exibiu os melhores resultados. Palavras-chave: índices de perigo, sazonalidade climática, focos de calor, Rio Xingu, proteção ambiental.

Vegetation fires and hydroclimatic relationships in watersheds in southeastern Amazonia

ABSTRACT

The aim of the work was to evaluate the relationships between climate elements and the seasonality of fire danger indices and the occurrence of hot spots, in three river basins in the Southeast region of the Amazon, tributaries of the Xingu River. The Angstrom, FMA+ and P-EVAP fire danger indices were evaluated, with daily meteorological data from 63 automatic meteorological stations from the station network of the National Institute of Meteorology (INMET) and Agritempo/EMBRAPA, between the years 2017 and 2021. The river basins of the Culuene, Comandante Fontoura and Fresco rivers showed similar climatic seasonality, with a rainy season between October and April, and a dry season between May and September. Thus, fire danger indices demonstrated similar seasonal behavior. The Angstrom index showed that between

June and September, the number of days with fire danger is equal to or greater than 84%. The FMA+ index showed that in the same period, 100% of days, regardless of the river basin, are in the high and very high danger classes. The P-EVAP index revealed that between June and August, 97.43% of days present high or very high fire danger. The hot spots were concentrated in the dry months for the river basins of the Culuene (92.8%), Comandante Fontoura (70.9%) and Fresco (89.1%) rivers. Among the three indices analyzed, the P-EVAP fire danger index, according to the Skill Score and success percentage values, exhibited the best results.

Keywords: danger indices, climate seasonality, hot spots, Xingu River, environmental protection.

Introdução

Os desafios relacionados com o desenvolvimento tecnológico e ambiental tornam-se cada vez mais complexos, visto que existe uma demanda crescente na utilização dos recursos naturais e da biodiversidade associadas ao crescimento populacional global (Cardinale et al., 2012). Os impactos ambientais causados pela ação humana estão crescendo de forma acelerada e têm sido um dos grandes desafios da ciência. Entre as questões ambientalmente significativas, os incêndios representam sérias ameaças multifacetadas para as florestas e ecossistemas terrestres, necessitando de atenção imediata e de medidas proativas para mitigar seus efeitos (Di Virgilio et al., 2019). Estes incêndios têm impactos ecológicos, econômicos e sociais substanciais, resultando em danos extensos em diferentes áreas vegetadas, tanto naturais quanto antropizadas.

Dada a sua importância, atualmente o tema é preocupação recorrente ao redor do mundo. Doerr e Santín (2016), descrevem como a preocupação com os incêndios florestais está mais difundida nas áreas da comunicação e nas ciências. Peterson et al., (2017), cita a ocorrência de incêndios globais graves com piro-convecção, que podem ter seus riscos e consequências potencializados por condições climáticas extremas. Incêndios graves e suas causas e consequências também são verificados e estudados na Austrália (Field et al., 2016; Davies, et al., 2023), nas savanas africanas e na África do Sul (Nieman et al., 2021; Strydom e Savage, 2016), no México (Neger et al., 2022) e em diferentes partes da Europa (Rodrigues et al., 2020). No Brasil a ocorrência de incêndios florestais, suas causas e consequências também têm sido analisada (Alencar et al, 2020; Reis et al, 2021).

A frequência e severidade dos incêndios têm reforçado a necessidade de sistemas de monitoramento, que possibilitem prevenção e respostas mais rápidas e eficientes. Nesse sentido, o monitoramento tradicional baseado na atuação

humana com auxílio de tecnologias como as de sensoriamento remoto tem começado, em algumas partes do mundo, a ser aperfeiçoado com a utilização e integração de novas tecnologias. Carta et al. (2023), descrevem a utilização de redes e sensores sem fios, de monitoramento via câmeras especiais e imagens de satélite, bem como, a interação e integração desses sistemas por meio de redes neurais e inteligências artificiais, levando a possibilidade de detecção precoce dos eventos. Essa integração de mecanismos e de entidades que monitoram os incêndios deve ser pensada e estruturada como ocorre com as análises climáticas, onde as informações são multiescalares (Bowman, 2023).

No Brasil a utilização de sistemas de detecção precoce ainda não ocorre, o monitoramento dos biomas Cerrado e Amazônia é feito especialmente por alertas de focos de calor registrados pelo satélite Aqua, o que impossibilita a atuação prévia ou respostas rápidas (Tomzhinski et al., 2011; Sales et al., 2019). Assim, o estudo dos índices de perigo de incêndio ainda é importante pois possibilitam a previsão e pode auxiliar ações de prevenção.

As condições climáticas estão ligadas diretamente com a frequência e ocorrência de incêndios em determinadas regiões. Por conseguinte, o entendimento das suas relações pode auxiliar na elaboração de planos de mitigação e de combate aos incêndios vegetacionais, pois indicam os períodos e locais com maior possibilidade de ocorrência de incêndios, permitindo um direcionamento correto das atividades de prevenção e combate ao fogo (Soares e Batista, 2007; Torres et al., 2011; Bezerra et al., 2021).

Dois termos são amplamente utilizados em estudos sobre incêndios vegetacionais são o “perigo de incêndio” e o “risco de incêndio” (Cheney e Gould, 1995). De acordo com os autores, o perigo de

incêndio está relacionado aos fatores que interferem de forma direta no fogo, como as características do material combustível, tipo, quantidade, condição, arranjo, clima, relevo e localização, que podem criar condições especiais para ignição. Já o risco de incêndio está ligado a presença ou não dos agentes causadores, como atividades florestais, atividades agrícolas próximas às áreas de florestas, proximidade de ferrovias, dentre outros.

Especificamente quanto ao clima, as suas relações com os incêndios podem ser entendidas como uma relação de produção de fogo, segundo Nunes et al. (2006), as condições climáticas (locais e regionais) são responsáveis pela ocorrência e propagação de incêndios na vegetação, e a velocidade de propagação e intensidade do incêndio apresenta relação direta com as precipitações acumuladas, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos. No caso, maior volume precipitado, menor temperatura e menor umidade relativa do ar igual a menor número de incêndio (Souza et al., 2020).

A possibilidade de ocorrência incêndios é influenciado por fatores que podem ser considerados como constantes e variáveis. Dentre fatores constantes, destacam-se o tipo/quantidade de material combustível (vegetação) e o relevo, pois não variam ou variam pouco ao longo do tempo (exceto para áreas de lavouras e pastagens). E, como fatores variáveis, têm-se a umidade do material combustível e as condições climáticas como temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar e precipitação, que podem variar espacialmente em curtos intervalos de tempo. Cada um desses fatores, exerce influência de maneira distinta no perigo de incêndio para um determinado local, tornando-se necessário conhecer as suas sazonalidades para determinação da periculosidade de incêndios vegetacionais.

O índice de perigo de incêndio “constitui uma tentativa de quantificar a probabilidade de um fogo ocorrer e se propagar quando existe uma fonte de ignição. Este índice é representado por um único número e deve ser avaliado diariamente usando dados observados ou medidos” (Torres e Ribeiro, p. 25, 2008). Para a composição dos índices de perigo de incêndio uma série de fatores e condições ambientais são consideradas. Dessa forma, a adequação de um determinado índice pode variar em

função da área em estudo onde esse índice será empregado, ou seja, um índice que apresente bons resultados para uma área “a” poderá apresentar resultados insatisfatórios para uma área “b” desde essas possuam diferenças especialmente em suas condições ambientais e climáticas (Torres e Ribeiro, 2008).

Na Austrália, dois índices têm sua utilização difundida, o índice Forest Danger Index (FFDI) que emprega precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura do ar diária e o Forest Fire Behaviour Table (FFBT) que utiliza umidade do ar, volume do material combustível, velocidade do vento próximo ao solo (McArthur, 1967; Beck, 1995). Em Portugal é aplicado o índice Canadian Wildland Fire Information System (FWI), baseado em temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação acumulada (24h) com registros observado às 12 UTC. Na Espanha o risco de ignição é estimado com o índice ICONA, que emprega a umidade do material combustível fino (Van Wagner, 1987; ICONA, 1993). O índice Fire Weather Indice (FWI) adota precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura diária e é amplamente empregado no Canadá, França, Itália e Portugal (Van Wagner, 1987; Viegas et al., 1999). Nos Estados Unidos é usado o índice National Fire Danger Ratings System (NDFRS), que considera o material combustível, clima, topografia e riscos (Bradshaw et al., 2016). No Brasil, país de território continental, apenas um índice não teria condições de abarcar as variações ambientais. Desse modo, no Brasil são comumente utilizados os índices Fórmula de Monte Alegre (FMA), considera a precipitação e a umidade relativa do ar (Soares, 1984), Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺), Angström, Telitsyn, Nesterov, a taxa acumulativa da Precipitação menos Evapotranspiração (P-EVAP) e Evapotranspiração dividido pela Precipitação (EVAP/P) (Torres e Ribeiro, 2008).

A tecnologia permitiu avanços significativos nas metodologias de monitoramento e análises ambientais, inclusive na área de incêndios. As condições que possam levar a existência de perigo ou risco de incêndios podem ser monitoradas, gerenciadas e eventualmente até mesmo controladoras com a utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Nesse sentido estudos pautados nas técnicas e produtos de

geoprocessamento evidenciam as condições para ocorrência de incêndios, especializam focos de queimadas, áreas queimadas, bem como, a severidade dos incêndios (Mota et al., 2019; Ziccardi et al., 2020; Shimabukuro et al., 2020; Flores-Rodríguez et al., 2020; Sousa et al., 2022).

Assim, para avaliar os índices de perigo de incêndios associados com variáveis climáticas e a existência de relação com as ocorrências de focos de calor, foram selecionadas três sub-bacias hidrográficas que estão inseridas nos biomas Cerrado e Amazônia (e sua transição), nos estados de Mato Grosso e Pará, Sudeste da região Amazônica brasileira. Para isso, foram avaliadas as variações espaciais e temporais de índices de perigo de incêndios baseados em precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, e, bem como, dos focos de calor registrados nas áreas das três bacias hidrográficas entre os anos de 2017 e 2021.

Metodologia

Área em estudo

As três sub-bacias hidrográficas estudadas encontram-se na margem direita do Rio Xingu, e apresentam nas últimas décadas avanço do desmatamento aliado ao crescimento das atividades agropecuárias (áreas de pastagens e lavouras temporárias).

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene** pertence a Região das Nascentes do Rio Xingu e está localizada na mesorregião Nordeste Mato-grossense e microrregião Canarana. A área de superfície é de 13.688km², abrangendo partes dos municípios de Água Boa, Campinápolis, Canarana, Gaúcha do Norte, Nova Brasilândia, Nova Xavantina, Paranatinga, Planalto da Serra, Primavera do Leste e Santo Antônio do Leste. No sudeste da área estão situadas as Terras Indígenas (TI): Parabubure, Chão Preto e Ubawawê, todas pertencentes ao povo Xavante, e no extremo norte da bacia, onde está seu exutório (no Rio Xingu), localiza-se a TI Pequizal do Naruv'tu, pertencente ao povo Kalalapo. Esses municípios apresentam suas principais atividades econômicas sustentadas pela pecuária de corte e pela agricultura.

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura** pertence a Região do Alto Xingu e está localizada na Mesorregião Nordeste Mato-grossense, na Microrregião do Norte Araguaia.

A bacia possui uma área superficial de 13.630km² e limites que cortam os municípios de Alto Boa Vista, Bom Jesus do Araguaia, Canabrava do Norte, Confresa, Porto Alegre do Norte, Santa Cruz do Xingu, São Félix do Araguaia, São José do Xingu, Vila Rica, no estado de Mato Grosso. Além desses, uma pequena parte de sua área, no extremo norte da bacia onde se localiza o exutório no Rio Xingu, pertence ao município de São Félix do Xingu, no estado do Pará. No extremo sul da bacia hidrográfica, localiza-se parte da TI Marãiwatsede, território do povo Xavante. A economia dos municípios é pautada principalmente nas atividades de pecuária extensiva, lavouras e extrativismo vegetal.

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco** pertence a Região do Médio Xingu e está localizada na Mesorregião Sudeste Paraense e Microrregião São Felix do Xingu. Apresenta área de 43.811 km², distribuída pelos municípios de Bannach, Cumaru do Norte, Ourilândia do Norte, Redenção, São Félix do Xingu e Tucumã. Na bacia hidrográfica também se situa parte de duas terras indígenas: TI Badjonkore e TI Kayapó, ambas pertencentes ao povo Kayapó; nesse caso, vale ressaltar que a TI Kayapó abarca cerca de 50% da área total da bacia. A economia dos municípios que compõem a bacia hidrográfica é fortemente baseada na pecuária de corte, mas a agricultura no entorno da bacia vem avançando e ganhando espaço e importância econômica e esse avanço começa a ser percebido dentro dos limites da bacia.

Procedimentos metodológicos

O software QGis 3.16 foi utilizado para compor e tratar o Modelo Digital Elevação (MDE), originário de imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e disponibilizado pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA (INPE, 2011), com resolução espacial de 30m, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Através das imagens obtidas via TOPODATA, foram definidos os limites das três sub-bacias hidrográficas, pela função de processamento GRASS, gerando os arquivos de formato raster (extensão .tif), que posteriormente, foram convertidos para arquivos de formato vetorial (extensão .shp).

Com as áreas a serem estudadas definidas, visando possibilitar o entendimento e contextualização das áreas das bacias, realizou-se

uma breve caracterização das áreas, pautada em sua localização, presença de terras indígenas, áreas de conservação ambiental, estrutura geológica, unidades de relevo, classes de solos, tipos de vegetação, características climáticas e condições de uso e ocupação.

Na sequência foi realizado o levantamento das estações pluviométricas e meteorológicas da Rede Hidrometeorológica Nacional, para os estados de Mato Grosso e Pará por meio da ferramenta HidroWeb (ANA, 2022). Além dessas estações, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), também foram obtidas as relações de estações meteorológicas (ou pontos de controle TRMM) do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Também com o auxílio do QGis 3.16 procedeu-se a espacialização das estações hidrometeorológicas na área de interesse. Na Figura 1, é possível verificar a localização das áreas de interesse, a distribuição das estações e uma relativa concentração das mesmas na porção leste da bacia hidrográfica do Rio Xingu, de igual forma, é possível notar a ausência de cobertura por estações na parte oeste da bacia).

Foram considerados dados diários de chuvas, temperatura, umidade e velocidade do vento, bem como, suas frequências, volumes e espacialidades foram obtidos para as estações apresentadas no Apêndice 1. O recorte temporal foi estabelecido entre os anos de 2017 e 2021 com o intuito de avaliar variação de um ano para outro. Inicialmente, foi analisada a consistência da base de dados com aplicação do método de duplas massadas (Bertoni e Tucci, 2001) e a identificação de falhas e outliers. Posteriormente, os dados foram agrupados em bases de dados anuais e sazonais (estações chuvosas e secas), para geração de regressões de preenchimento

de falhas. Independentemente da variável climática, as falhas foram corrigidas pelo método da ponderação regional associadas com regressões lineares ou polinomiais entre as três estações mais próximas (Sabino et al, 2022).

Após a aquisição e correção dos dados climáticos os mesmos foram utilizados na aplicação dos índices de perigo de incêndio de Ångström, FMA⁺ e P-EVAP, considerados como índices recomendados para a região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso (Casavecchia et al., 2019).

O Índice de Ångström é um índice de perigo de incêndio não acumulativo e para sua utilização demanda dados climáticos diários, registrados as 13, de temperatura e a umidade relativa do ar (Ångström, 1949; Casavecchia et al, 2019). A aplicação do índice é alcançada pelo cálculo, conforme a equação:

$$B = 0,05H_i - 0,1 (T - 27) \quad \text{Equação 01}$$

em que: H_i = umidade relativa do ar média diária (%); T = temperatura do ar média diária (° C).

A Fórmula Monte Alegre Modificada (FMA⁺) é um índice acumulativo e sua utilização depende da umidade relativa do ar e velocidade do vento, ambas medidas ou representativas de valores das 13h (Torres e Ribeiro, 2008; Souza, et al 2012). O índice apresenta restrições dependentes das precipitações (Tabela 1) e a sua obtenção decorre da aplicação da fórmula:

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{H_i} \right) e^{0,04v} \quad \text{Equação 02}$$

em que: v = velocidade do vento em m/s; n = número de dias sem chuva maior ou igual a 13 mm; e = exponencial niperiano.

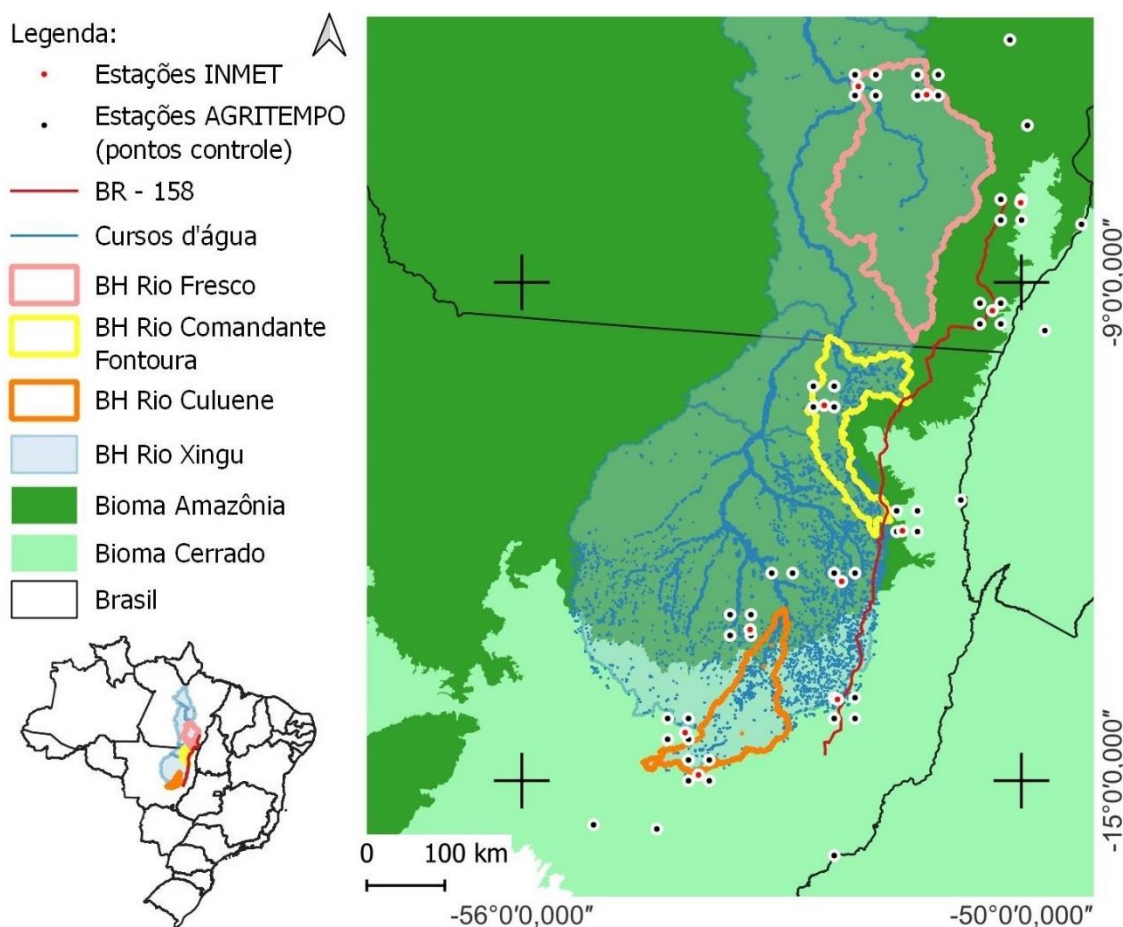


Figura 1. Localização das áreas de interesse e das estações meteorológicas utilizadas no estudo

Tabela 1. Restrição na utilização do índice de perigo de incêndio FMA^+

Precipitação do dia em mm	Alteração no cálculo
$\leq 2,4$	Não há alteração
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA^+ calculada na véspera e somar (100/H) do dia
5 a 9,9	Abater 60% na FMA^+ calculada na véspera e somar (100/H) do dia
10 a 12,9	Abater 80% na FMA^+ calculada na véspera e somar (100/H) do dia
$> 12,9$	Interromper o cálculo ($FMA^+ = 0$) e recomençar no dia seguinte ou quando cessar a chuva

Para o cálculo da FMA^+ o primeiro passo foi obter a umidade relativa do ar e velocidade do vento às 13h; na sequência foram observados e analisados os dados de precipitação para calcular o número de dias com chuva e sua intensidade.

O índice de perigo de incêndio $P - EVAP$, assim como o índice FMA^+ , é acumulativo e os

valores para as variáveis são exibidos em milímetros e devem ter seu registro diário. O cálculo é feito pela diferença da precipitação (P) e evaporação (EVAP). O índice possui restrições condicionadas a precipitação que são apresentadas na Tabela 2 (Torres e Ribeiro, 2008; Souza et al., 2012).

Tabela 2. Restrição na utilização do índice de perigo de incêndio P – EVAP

Precipitação do dia em mm	Alteração no cálculo
$\leq 2,0$	Não há alteração
2,1 a 5,0	Abater 25% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia
5,1 a 8,0	Abater 50% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia
8,1 a 10,0	Abandonar o cálculo anterior e reiniciar um novo, isto é, $G = (d.t)$ do dia
$> 10,0$	Interromper o cálculo ($G = 0$) e recomençar no dia seguinte ou quando cessar a chuva

Os valores resultantes para Angstrom foram organizados em duas classes: há perigo e não há perigo. Já os resultados para FMA⁺ e P-EVAP foram hierarquizados em cinco classes quanto a seu grau de perigo: nulo, baixo, médio, alto e muito alto. Logo após, os resultados dos índices e suas classes foram confrontados com os dados climáticos.

Para se estabelecer correlações mais sólidas entre as variáveis que podem favorecer a ocorrência de queimadas com ocasionais eventos efetivamente reais foi adquirido junto ao banco de dados BDQueimadas – INPE, dados de focos de calor, para os estados de Mato Grosso (MT) e Pará (PA). Os dados foram adquiridos para todos os satélites que a

plataforma disponibiliza, no caso: Terra Manhã, Terra Tarde, Aqua Manhã, GOES-13, GOES-14, NOAA-15 Noite, NOAA-15 Manhã, NOAA-18 Tarde, NOAA-18 Manhã, MSG-3, METOP-B, NOAA-19 Tarde, NOAA-15 Manhã, NPP-375 Manhã, NPP-375 Tarde (INPE, 2022).

Posteriormente, foi calculado o Skill Score para verificar a qualidade do sistema de previsão alcançado e, assim validar os índices produzidos. O Skill Score é obtido pela aplicação de uma tabela de contingência (Tabela 3), com os valores observados e os valores previstos para um determinado evento, população ou intervalo de tempo.

Tabela 3. Tabela de contingência do Skill Score

Previsto	Observado		Total Previsto
	Incêndio	Não incêndio	
Incêndio	a	b	$N2 = a + b$
Não incêndio	c	d	$N4 = c + d$
Total Previsto	$N1 = a + c$	$N3 = b + d$	$N = a + b + c + d$

em que: “a” e “d” = previsões de sucesso do evento;
 “b” e “c” = previsões de insucesso do evento;
 N = número total de observações – $N = a + b + c + d$;
 G = número de acertos na previsão – $G = a + d$;
 p = probabilidade de ter pelo menos um evento por dia – $p = N1 / N$;
 q = probabilidade de exceder o valor limite do índice – $q = N2 / N$;
 H = número esperado de acertos – $H = N * (1 - p) * (1 - q) + N * p * q$;
 SS = Skill Score – $SS = (G - H) / (N - H)$;
 PS = porcentagem de sucesso – $PS = G / N$;
 Acerto nas previsões de ocorrências de incêndios = $a / N2$;
 Acerto nas previsões de não ocorrências de incêndios = $d / N4$.

Os valores dos índices das classes de perigo I, II e III foram considerados como de previsão de não ocorrência de incêndios e os valores das classes VI e V como sendo de dias previstos para a ocorrência de incêndios. Os valores para dias

observados com ocorrência foram retirados dos dados de focos de calor do BDQueimadas, no caso, dias que registraram focos de calor foram admitidos como dias observados de ocorrência de incêndios e os dias sem registro de focos de calor foram considerados como dias observados de não ocorrência de incêndios.

Na sequência, com o auxílio do QGis 3.16 os focos de calor foram recortados tendo por base os limites das bacias hidrográficas, visando reduzir a quantidade de dados e otimizar as condições de processamento no software. Na sequência, buscou-se confirmar quais dos satélites têm dados melhores para a finalidade de analisar os focos de calor, sendo o conjunto de dados do satélite Aqua escolhido especialmente pelo horário de imageamento das áreas das bacias de interesse, que ocorre por volta das 13h. Aliado ao seu horário ideal para as análises soma-se o fato do satélite Aqua ser o atual satélite de

referência para estudos acerca de queimadas disponibilizados pelo BDQueimadas.

Os dados também foram organizados por meses, com a finalidade de confirmar se os momentos de ocorrência de maior número de focos de calos coincidiam com os momentos de maiores temperaturas e menores umidades relativas do ar, bem como, para correlacionar os focos observados e suas datas com os resultados alcançados com a aplicação do índice de perigo de incêndios de Angstrom, FMA⁺ e P-EVAP.

Por fim, com o software QGis 3.16 os focos de calor, dos anos do estudo, localizados no perímetro das bacias foram utilizados para a elaboração de um mapa de densidade de kernel, com raio (R) de 1000m através da função estatística quadrática. A densidade de kernel consiste em quantificar as relações de pontos de um fenômeno, em um determinado raio (R), baseado em uma função estatística que analisa os padrões apresentados pelos pontos (Nunes et al., 2020).

Resultados e discussão

Evolução temporal no uso e ocupação das áreas de estudo

As transformações nas formas de uso e ocupação do solo na **sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene**, no intervalo de estudado, sofreu variação pequena. Conforme pode ser visto na Tabela 4, as Formações Savânica, Florestal e Campestre praticamente mantiveram sua área no período. Já as áreas destinadas a prática de atividades agropastoris sofreram pequenas reconfigurações em sua distribuição, a área de pastagem teve uma redução de 3,34% da sua superfície. As áreas destinadas as lavouras de soja e milho tiveram um discreto aumento de 0,72%. Por sua vez, as áreas de uso misto de pastagem e agricultura, subiram de 5,27% para 8,03% do total.

Tabela 4. Evolução temporal no uso e ocupação dos solos na sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene

Classe de uso	Área ocupada por classe (em %)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,99	0,99	0,99	1,26	1,02
Formação Campestre	4,94	5,00	5,02	5,65	5,08
Mosaico de Agricultura e Pastagem	5,27	5,48	5,64	5,66	8,03
Lavouras Temporárias (Soja e Milho)	10,06	10,13	10,64	9,98	10,78
Formação Florestal	10,59	10,61	10,67	9,77	10,63
Pastagem	23,69	23,33	22,50	22,23	20,35
Formação Savânica	43,35	43,39	43,49	44,76	43,07

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura**, a Formação Campestre não teve seu total de área alterado, já as Formações Savânica e Florestal perderam, respectivamente, 0,54% e 1,81% do total de suas áreas. As pastagens

na bacia perderam uma fração de 0,66% da área inicialmente ocupada. Já as áreas das lavouras de soja e milho tiveram um incremento de 3,03%, passando a totalizar 16,05%, conforme exposta na Tabela 5.

Tabela 5. Evolução temporal no uso e ocupação dos solos na sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura, região Noroeste do estado de Mato Grosso.

Classe de uso	Área ocupada por classe (em %)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Formação Campestre	0,57	0,57	0,59	0,73	0,58
Formação Savânica	4,02	3,95	3,84	3,73	3,48
Lavouras Temporárias (Soja e Milho)	13,02	13,91	15,39	16,02	16,05
Pastagem	39,00	38,39	37,21	37,75	38,34
Formação Florestal	42,79	42,58	42,39	41,10	40,98

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco**, a Formação Campestre e a Formação Savânica são

registraram mudanças no total de sua área de abrangência superficial. Já a Formação Florestal

sofreu uma supressão de 1,67% em sua cobertura, o que dado a dimensão da bacia equivale a 731,64km². As áreas destinadas as pastagens foram ampliadas em 1,38%, chegando assim a 33,43% do total, enquanto as lavouras apresentaram comportamento estático,

com 0,31% da área total da bacia. A mineração praticamente dobrou sua área de intervenção, passando de 0,21% para 0,41% da área da bacia (Tabela 6).

Tabela 6. Evolução temporal no uso e ocupação dos solos na sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco

Classe de uso	Área ocupada por classe (em %)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Mineração	0,21	0,25	0,30	0,28	0,41
Lavouras Temporárias (Soja e Milho)	0,31	0,31	0,32	0,33	0,31
Formação Savânica	1,18	1,17	1,16	4,65	1,18
Formação Campestre	4,65	4,66	4,70	3,35	4,70
Pastagem	32,05	32,04	32,01	32,76	33,43
Formação Florestal	61,24	61,19	61,13	58,20	59,57

Condições climáticas

Ao longo do intervalo analisado, as sub-bacias hidrográficas estudadas apresentaram períodos chuvosos entre os meses de outubro e abril e o período de estiagem compreendido entre os meses de maio e setembro, conforme pode ser visto na Figura 2. O volume de chuva verificado na bacia hidrográfica do Rio Fresco é superior ao observado nas bacias hidrográficas do Rio Culuene e do Rio Comandante Fontoura, mas a frequência na ocorrência é similar nas áreas (Figura 2ABC). A temperatura do ar nas 3 áreas tem valores e frequência bastante próximos. Os valores médios de precipitação e temperatura observados para a bacia hidrográfica do Rio Culuene, para a bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura e para a bacia do Rio Fresco, estão próximos dos valores médios apresentados por Alvares et al. (2013). A umidade relativa do ar na bacia hidrográfica do Rio Culuene, no auge da estiagem, atinge valores ligeiramente menores que aos observados nas bacias hidrográficas do Rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco (Figura 2GHI). A velocidade dos ventos na bacia hidrográfica do Rio Fresco difere do observado nas demais bacias, tanto na intensidade, quanto na constância dos valores ao longo do ano. Já para as bacias hidrográficas do Rio Culuene e Comandante Fontoura a variação na intensidade foi semelhante sendo que na segunda as velocidades são levemente superiores. As condições no padrão de distribuição e intensidades da precipitação, da temperatura do ar, da

umidade relativa do ar e velocidades dos ventos, para as bacias, podem ser observadas na Figura 2.

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene**, os meses chuvosos apresentam precipitação diária média de 6,49mm (média mensal de 194,81mm), com picos acontecendo normalmente entre os meses de novembro e março. A temperatura diária média registrada foi de 26,07°C tendo as temperaturas máximas ocorrido no mês de outubro, com dias apresentando temperaturas superiores aos 30°C. A umidade relativa do ar diária média de 54,86%, sendo que os valores do período variam para menos normalmente no mês de outubro, com valores entre o intervalo de 30% a 22,81% (valor mínimo registrado). A velocidade do vento diária média é 1,68km/h, sendo estável nos meses de chuva.

No período de estiagem a média diária de precipitação de é 0,64mm (média mensal de 19,24mm), nesse período registra-se uma média de 137,4 dias com escassez total de chuva ou com precipitações inferiores a 1mm por dia. A média diária da temperatura do ar é de 27,45°C, sendo que no mês de setembro quase a totalidade dos dias registram valores acima da média, com picos na casa dos 35°C, nesse mesmo momento (setembro) registrou-se vários dias com valores de umidade relativa do ar na casa dos 20%, frente a umidade relativa do ar média do período seco que é 31,15%. A média diária da velocidade dos ventos é de 2,08km/h, com maior intensidade nos meses de agosto e setembro, quando comumente os valores superam o dobro da média do período.

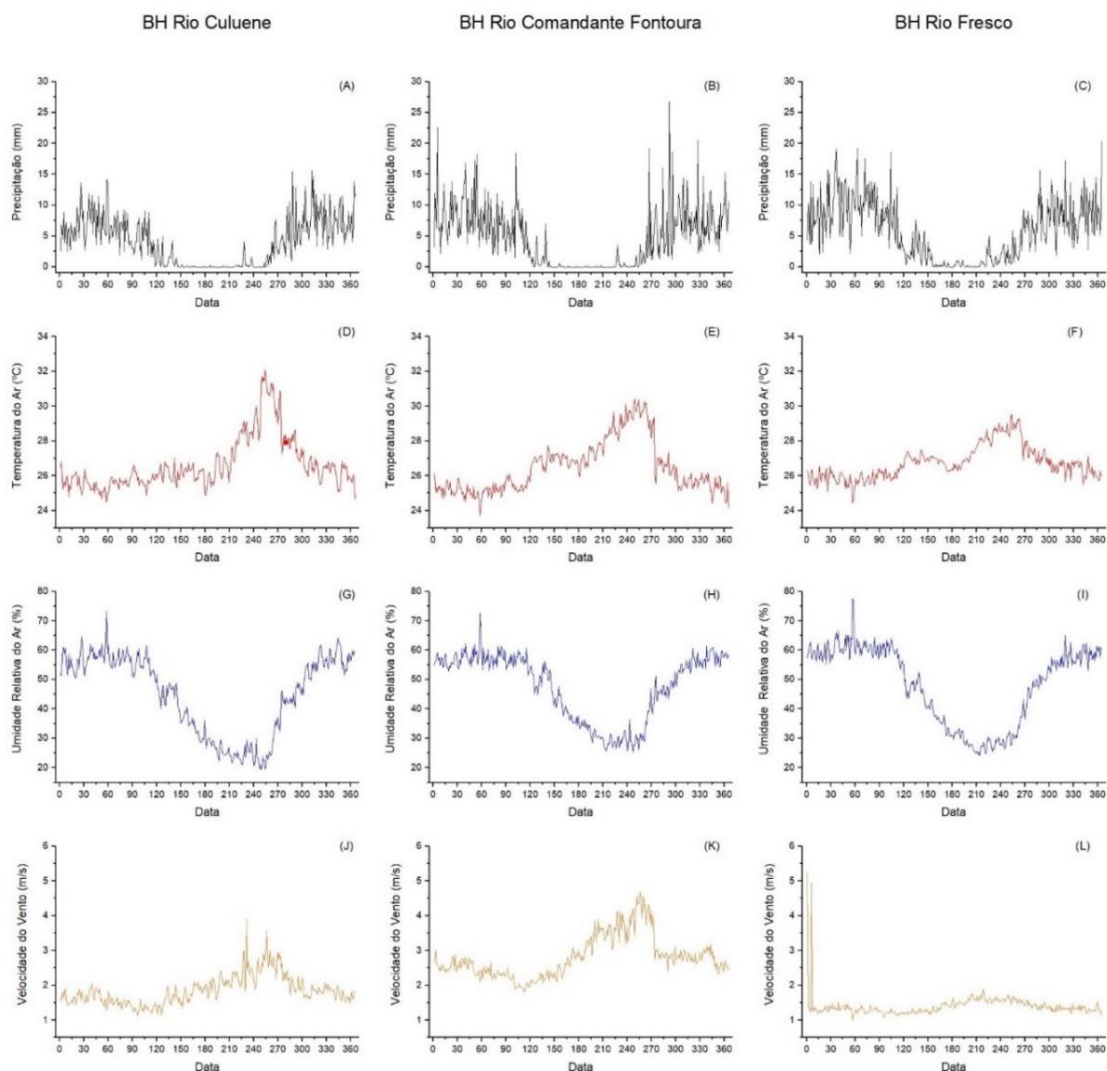


Figura 2. Padrão das variáveis climáticas para as sub-bacias hidrográficas do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura**, tem a estação chuvosa registrada entre os meses de outubro e abril, com média diária de 7,44mm (média mensal de 223,2mm), com os maiores volumes de precipitação acontecendo normalmente no entre os meses de novembro e março. A temperatura média diária registrada foi de 25,47°C tendo as máximas situadas no mês de outubro, com dias chegando próximos aos 30°C. A umidade relativa do ar média é de 55,49%, sendo os menores valores do período registrados no mês de outubro, estando próximos de 30%. A velocidade do vento média é 2,55km/h, com uma ligeira superioridade na intensidade nos meses de

outubro e novembro frente ao valor da média do período.

O período de estiagem (maio a setembro), apresenta média diária de precipitação de 0,73mm (média mensal de 21,9mm), nesse período registra-se uma média de 137,4 dias sem chuva ou com total de precipitado inferior a 1mm dia. A média diária da temperatura do ar é de 27,88°C, sendo que nos meses de julho, agosto e setembro a grande parte dos dias apresentam temperaturas superiores a 30°C. A umidade relativa do ar média do período seco que é de 36,52%, sendo que nos meses de julho, agosto e setembro grande parte dos dias apresentam valores de umidade relativa do ar na ordem de 20%. A média

da velocidade dos ventos é de 3,17km/h, sendo que os meses de agosto e setembro os apresentam ventos

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco**, possui uma precipitação diária média de 8,7mm (média mensal de 261mm), para os meses da estação chuvosa (outubro a abril), sendo os maiores volumes precipitados verificados entre os meses de novembro a março. A temperatura média diária registrada foi de 26,2°C, sendo as temperaturas máximas observadas nos meses de outubro, novembro e dezembro, com dias chegando próximo aos 30°C. A umidade relativa do ar média é de 58,06%, os valores inferiores para o período foram registrados no mês de outubro e situam-se acima dos 36%. A velocidade do vento média é 1,37km/h, sendo muito estável nos meses de chuva. O período de estiagem vai de maio a

Comportamento dos índices de perigo de incêndio

Os três índices de perigo de incêndio aplicados (Angstrom, FMA+ e P-EVAP) demonstram menor perigo de incêndio para os meses chuvosos (outubro a abril) e maior perigo de incêndio para o período de estiagem (maio a setembro) das bacias hidrográficas e o período de maior perigo para a ocorrência de incêndio. Os resultados de Angstrom, FMA+ e P-EVAP também confirmam a relação do perigo e sua intensidade e risco de ocorrência com as condições climáticas, no caso: ausência ou baixa precipitação, com consequente baixa umidade relativa do ar, somadas a altas temperaturas do ar.

de maior intensidade em comparação com a média do período.

setembro, e apresenta média diária de precipitação de 1,59mm (média mensal de 47,7mm), com uma média de 110,4 dias sem chuva ou com precipitação menor que 1mm por dia. A média diária da temperatura do ar é de 27,51°C, sendo os meses de agosto e setembro com grande parte de seus dias com temperaturas atingindo a casa dos 30°C. A umidade relativa do ar média para o período de seca é de 34,41%, nos meses de julho, agosto e setembro são observados vários dias com valores de umidade relativa do ar na ordem de 20%. A média da velocidade dos ventos é de 1,46km/h, percebendo no mês de agosto uma leve superioridade na velocidade dos ventos frente a média da estação.

Também é semelhante as intensidades das classes de perigo de incêndio verificadas entre FMA+ e P-EVAP para as diferentes sub-bacias.

Para os meses chuvosos, o índice de perigo de incêndio de **Angstrom**, demonstra que para as três bacias, 71,33% dos dias ou mais, apresenta ausência de perigo de incêndio, exceto no mês de outubro nas bacias hidrográficas do Rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco que vem o número de dias sem perigo cair, respectivamente, para 64,67% e 54,67% dos dias do mês. Na Tabela 7, e na Figura 3, ficam evidenciados os períodos de maior ou menor chance de ocorrência de incêndios, derivado do índice de perigo de incêndio de Angstrom.

Tabela 7. Número médio de dias de perigo de incêndio para Angstrom

Mês	Sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene		Sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura		Sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco	
	Há perigo ¹	Não há perigo ²	Há perigo ¹	Não há perigo ²	Há perigo ¹	Não há perigo ²
Jan	7	24	1,2	29,8	0,6	30,4
Fev	1,8	26,2	1,6	26,4	0,8	27,2
Mar	3,8	27,2	0,4	30,6	0,2	30,8
Abr	8,6	21,4	1,6	28,4	1	29
Mai	19,6	11,4	7,2	23,8	22	9
Jun	28,6	1,4	26,4	3,6	29,4	0,6
Jul	31	0	30,8	0,2	30,8	0,2
Ago	30,6	0,4	30,4	0,6	30,8	0,2
Set	29,6	0,4	27,4	2,6	28,2	1,8
Out	22,8	8,2	11,6	19,4	14,6	16,4
Nov	7,8	22,2	4,4	25,6	5,2	24,8
Dez	5,4	25,6	1,8	29,2	3,2	27,8
Total dias	365		365		365	

¹Número de dias em conforme Angstrom há perigo de incêndio; ²Número de dias em conforme Angstrom há perigo de incêndio

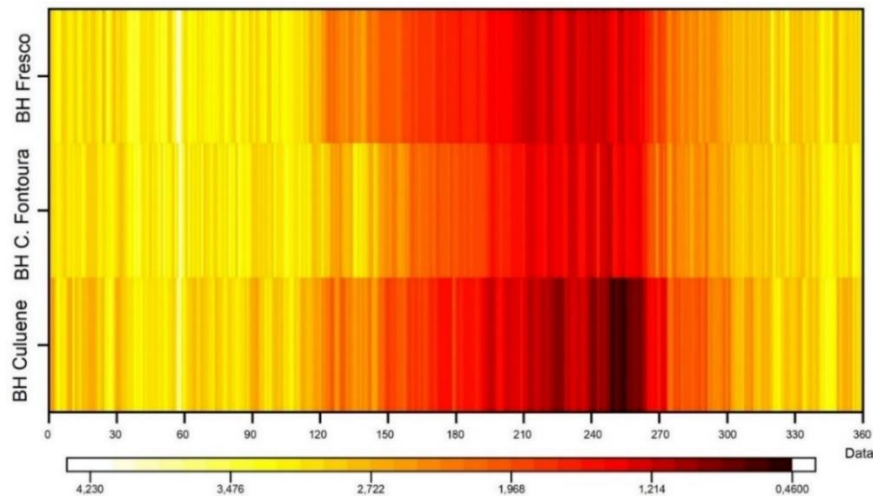


Figura 3. Perigo de incêndio por Angstrom para as sub-bacias hidrográficas do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco, a intensidade do perigo varia de amarelo fraco (menor perigo) para preto (maior perigo) e expressa a média de 2017 a 2021 distribuída em um ano

Nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, o comportamento entre as diferentes sub-bacias é similar. Em maio, verifica-se o menor número de dias classificados com perigo, sendo de 23,23% de dias para a bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura, 63,23% de dias para a bacia hidrográfica do Rio Culuene e 70,97% de dias com perigo de incêndio para a bacia hidrográfica do Rio Fresco. Nos demais meses do período de estiagem, o número de dias com perigo de incêndio é igual ou superior a 84,16%.

A **FMA+**, nos meses de chuva, para as sub-bacias hidrográficas do Rio Culuene, do Rio

Comandante Fontoura e do Rio Fresco tem entre 50,32% e 90,71% dos dias com perigo de incêndio classificados como nulos ou baixos. A exceção é a bacia hidrográfica do Rio Culuene que para os meses de outubro e abril, ainda se verifica um certo grau de perigo de incêndio, sendo que 75,48% dos dias de abril e 67,74% dos dias do mês de outubro estão posicionados dentro das classes médio, alto e muito alto perigo de incêndio. Para os meses de junho, julho, agosto e setembro, as três sub-bacias apresentam 100% dos dias na classe de perigo alto e muito alto (Tabela 8 e Figura 4).

Tabela 8. Número médio de dias e intensidade por classes de perigo de incêndio para FMA+

Mês	Sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene					Sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura					Sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco				
	I nulo	II baixo	III médio	IV alto	V muito alto	I nulo	II baixo	III médio	IV alto	V muito alto	I nulo	II baixo	III médio	IV alto	V muito alto
Jan	6,6	9	8,8	5,6	1	14,4	11,8	3,6	1,2	0	9,2	14,4	6	1,4	0
Fev	8,8	11,6	5,4	2,2	0	13	8,4	5,8	0,8	0	11,6	13,8	2,4	0,2	0
Mar	5,4	11,6	8,8	5,2	0	8,8	11	6,4	4	0,8	15,4	13,8	1,8	0	0
Abr	2,4	4,2	7,2	11,2	5	8	8	6,8	5,6	1,6	9,2	12,2	8	0,6	0
Mai	0	0	2	4,2	24,8	0,6	2	3,4	7,6	17,4	0,4	0,8	3,2	8,6	18
Jun	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0,6	29,4
Jul	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31
Ago	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31
Set	0,4	0,6	0,8	0,6	27,6	1,4	1,6	1	0,4	25,6	0,6	2,4	1,6	1,6	23,8
Out	2	8	7,4	2,8	10,8	7,6	8,8	5,6	3	6	6,4	10	7,2	4	3,4
Nov	9,6	13,6	3,2	2,6	1	9,8	9,8	6	2,2	2,2	10	12,6	5	2,4	0
Dez	7,6	12,4	7	1,6	2,4	10,6	11	4,6	3,2	1,6	9,8	11,8	5	3,2	1,2
Total dias			365					365					365		

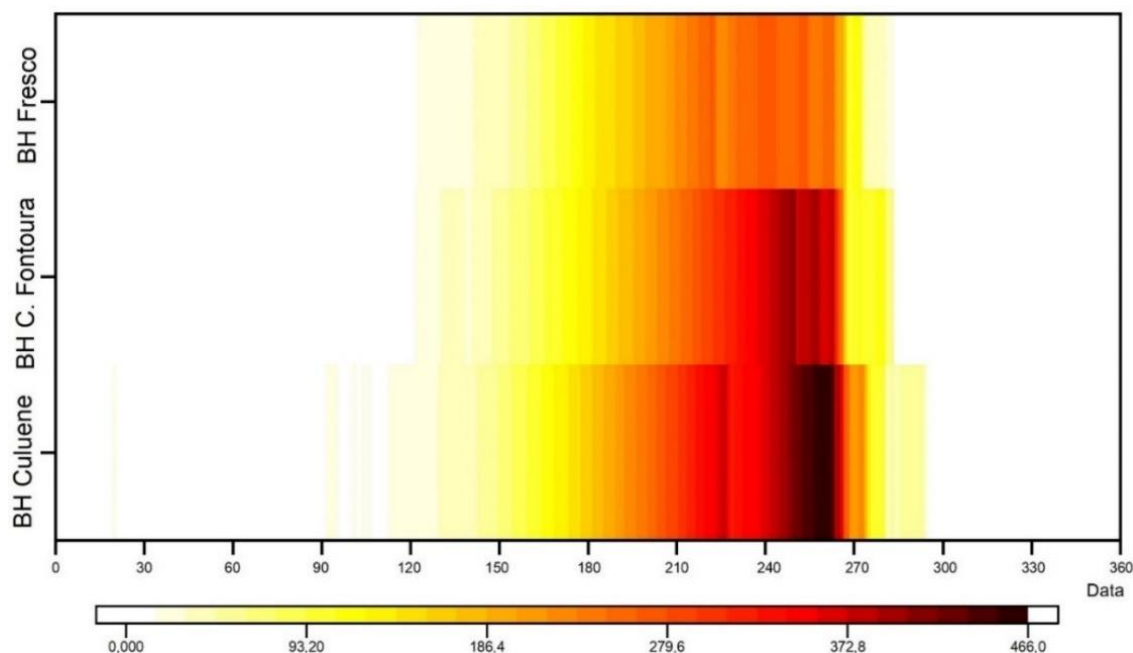


Figura 4. Perigo de incêndio por FMA⁺ para as sub-bacias hidrográficas do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco, a intensidade do perigo varia de amarelo fraco (menor perigo) para preto (maior perigo) e expressa a média de 2017 a 2021 distribuída em um ano

Durante os meses de estiagem, o número de dias com perigo de incêndios cresce de forma significativa. Para o mês de maio, quando se inicia o período de redução acentuada das precipitações e por consequente redução da umidade relativa do ar, a FMA⁺ coloca 80% dos dias da a bacia hidrográfica do Rio Culuene situados nas classes de perigo de incêndio muito alto, os outros 20% dos dias do mês estão nas classes de médio e alto perigo de incêndio. As bacias hidrográficas do Rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco apresentam comportamento semelhante, a primeira tem 51,61% dos seus dias dentro da classe de perigo muito alto, e outros 35,49% dos dias apresentam perigo de incêndio alto ou médio, já a segunda tem 58,06% dos dias considerados de perigo muito alto, e 38,06% de dias com perigo alto ou médio.

Conforme a **P-EVAP**, para as bacias hidrográficas do Rio Culuene, do Rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco, a ampla maioria dos dias nos meses de outubro a abril (período chuvoso), apresentam valores nulos ou baixos para perigo de incêndio. Nesse período, destaca-se o mês de outubro com 23,87% dos dias com perigo de incêndio alto ou muito alto para a bacia hidrográfica do Rio Culuene e com 12,26% dos dias com alto ou muito alto perigo

de incêndio para a bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura.

No mês de maio (início da estiagem), na bacia hidrográfica do Rio Culuene, 83,87% dos dias contém perigo de ocorrência de incêndios, sendo que 57,41% desses dias estão classificados com alto ou muito alto grau de perigo de incêndio. No mesmo período a bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura possui 80,64% dos dias com perigo de incêndio, sendo 45,16% dos dias com perigo alto ou muito alto, já a bacia hidrográfica do Rio Fresco tem 74,19% com perigo de incêndio e 29,68% dos dias com perigo tem classificação alta para o perigo de incêndio.

Nos meses de junho, julho e agosto as três sub-bacias tem quase a totalidade dos seus dias com alto ou muito alto perigo de incêndio. Em setembro, o número de dias com perigo de incêndio sofre leve queda nas bacias hidrográficas do Rio Culuene e do Rio Comandante Fontoura, ficando na primeira com 93,33% de seus dias com perigo de incêndio (83,33% de dias com alto ou muito alto) e na segunda com perigo de incêndio em 81,33% dos dias (74% de dias com alto ou muito alto). Já na bacia hidrográfica do

Rio Fresco a queda no número de dias com perigo de incêndio, é mais significativa em comparação com as outras duas sub-bacias ou com os meses anteriores, ficando os dias com perigo de incêndio em 75,33% do total, sendo 70% dos dias nas classes de perigo de

incêndio alto ou muito alto. Na Tabela 9, bem como, na Figura 5, são apresentados a intensidade e frequência na ocorrência de perigo de incêndio, baseados no índice de perigo de incêndio P-EVAP.

Tabela 9. Número médio de dias e intensidade por classes de perigo de incêndio para P – EVAP

Mês	Sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene					Sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura					Sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco				
	I nulo	II baixo	III médio	IV alto	V muito alto	I nulo	II baixo	III médio	IV alto	V muito alto	I nulo	II baixo	III médio	IV Alto	V muito alto
Jan	12	12,8	6,2	0	0	21,8	8,8	0,4	0	0	18,4	11,8	0,8	0	0
Fev	15,6	11	1,4	0	0	19	8,2	0,8	0	0	22,6	5,2	0,2	0	0
Mar	11,4	11,6	8	0	0	18,8	10,8	1,4	0	0	22,4	8,2	0,4	0	0
Abr	5,2	10,2	13,2	1,4	0	14	9,2	6,4	0,4	0	14,6	12,8	2,6	0	0
Mai	0,8	4,2	8,2	16,2	1,6	2	4	11	9,6	4,4	1,8	6,2	13,8	9,2	0
Jun	0	0	0	5,2	24,8	0	0	0	6,6	23,4	0	1	2	9	18
Jul	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31
Ago	0	0	1,2	1,8	28	0,6	0,6	1	1	27,8	1	0,4	1,2	0,8	27,4
Set	0,8	1,2	3	3,6	21,4	3,4	2,2	2,2	1	21,2	3,8	3,6	1,6	2,2	18,8
Out	7	10,2	6,4	5,4	2	9,8	10,6	8,6	2,4	1,4	15	11,2	3,4	0	1,4
Nov	18,6	7,6	3,2	0,6	0	18,8	9,6	1,6	0	0	16,4	11	2,6	0	0
Dez	14,6	11,8	3,8	0,8	0	17,8	9,6	2,6	1	0	15,2	12,4	2,8	0,6	0
Total dias			365					365					365		

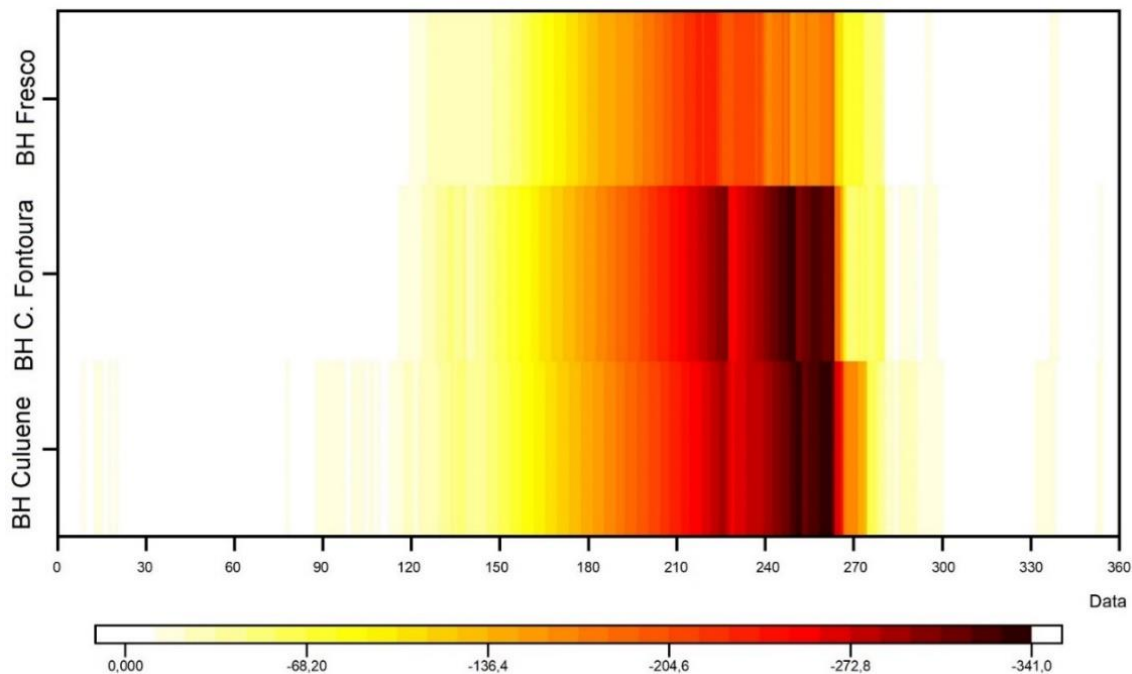


Figura 5. Perigo de incêndio por P-EVAP para as sub-bacias hidrográficas do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do Rio Fresco, a intensidade do perigo varia de amarelo fraco (menor perigo) para preto (maior perigo) e expressa a média de 2017 a 2021 distribuída em um ano

Focos de queimadas

A ocorrência de focos de queimadas nas sub-bacias hidrográficas do Rio Xingu ocorre em

períodos semelhantes ao longo do ano. O número de eventos e sua distribuição ao longo dos meses e anos de análise são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Número de focos de calor para as sub-bacias hidrográficas

Mês	Sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene					Sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura					Sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco				
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
Jan	1	1	2	0	12	10	14	5	13	12	2	3	0	0	6
Fev	1	0	7	17	2	3	6	29	14	18	0	0	3	0	1
Mar	6	9	12	9	8	7	14	23	30	13	0	3	0	0	1
Abr	8	4	9	9	17	16	10	15	16	14	0	0	0	0	0
Mai	7	9	17	19	21	20	25	64	46	50	5	2	2	0	1
Jun	31	29	45	32	55	96	59	72	92	166	27	26	9	5	10
Jul	98	104	87	73	88	110	78	65	38	48	94	22	39	36	36
Ago	283	241	224	459	246	198	64	101	58	38	487	156	418	155	137
Set	323	263	188	347	157	143	59	149	213	79	1808	252	321	1321	243
Out	7	11	25	26	0	155	86	62	83	35	202	80	47	214	29
Nov	14	1	8	13	4	15	15	38	43	9	11	13	19	18	9
Dez	1	7	4	7	6	10	18	9	11	6	3	5	9	8	1
Total	780	679	628	1011	616	783	448	632	657	488	2639	562	867	1757	474

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene**, nos anos de estudo, foram registrados um total de 3712 focos de calor, sendo o ano de 2020 o que registrou o maior número de ocorrências, foram 1011 focos de calor registrados.

Em termos médios, os dados demonstram que na bacia 7,2% dos focos de calor foram registrado no período chuvoso, e os outros 92,8% dos casos ocorreram nos meses de estiagem, sendo que 73,5% do total foram registrados nos meses de agosto e setembro. Nesses meses, os Índices de perigo de incêndio (Angstrom, FMA+ e P-EVAP) evidenciam que quase a totalidade dos dias tem chance de ocorrência de incêndios e estão posicionados na classe de muito alto grau de perigo.

Ao se analisar a distribuição e concentração dos focos de calor registrados pelo espaço da bacia hidrográfica do Rio Culuene observa-se que ocorre uma concentração dos eventos na parte norte que também abarca a Terra Indígena (TI) do povo Naravute e no centro-sul da bacia, destacando-se nas TI's Parabubure, Ubawawe e Chão Preto do povo Xavante, como pode ser observado na Figura 6. Nas três áreas pertencentes ao povo Xavante ocorreram 2856 focos de calor, o que representa 76,9% do total de focos de calor registrados na bacia.

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura**, no período do estudo,

registrou a ocorrência de 3008 focos de calor, sendo o ano de 2017 com 783 ocorrências o de maior número de focos no período.

Na bacia, nota-se uma distribuição temporal da ocorrência dos focos de calor, tanto nos períodos chuvosos e secos quanto dentro do período seco. Na média 29,1% dos focos ocorreram em meses chuvosos (14% apenas no mês de outubro) e 70,9% dos focos de calor aconteceram nos meses de seca, sendo que 64,1% do total de focos de calor foram registrados nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Esses meses tem a maioria de seus dias classificados por Angstrom, FMA+ e P-EVAP na classe de perigo muito alto para ocorrência de incêndios.

Os registros de focos de calor são relativamente homogêneos pelo espaço da bacia, com duas áreas de concentração dos focos ocorrendo nas porções noroeste e sul, como pode ser visto na Figura 6. Na parte sul a maior densidade dos focos de calor é verificada na TI Maraiwatsede do povo Xavante, onde ocorreram 613 focos de calor, no caso 20,4% do total do período.

No período do estudo, na área da **sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco**, aconteceram 6299 focos de calor, no ano de 2017 ocorreram 2639 e somente no mês de setembro foram registrados 1808 focos de calor.

Na bacia, uma média de 10,9% dos focos de calor ocorreu nos meses de chuva, sendo que 9,04% (quase a totalidade) foram registrados em outubro. Nos meses de estiagem são registrados 89,1% dos focos de calor ocorrem, sendo os meses de agosto e setembro responsáveis por 71,7% do total de focos de calor. Nesses meses a maior parte dos dias foram classificados de muito alto perigo de incêndio por Angstrom, FMA+ e P-EVAP.

A área da bacia (Figura 6) demonstra ocorrência dos focos de calor espalhados numa faixa relativamente homogênea que vai do sul da bacia, estende-se pela borda leste e engloba a porção norte. Nas TI's Kayapó e Bandjonkore do povo Kayapó, ocorreram 1529 focos de calor, valor que representa 24,3% do total, mas esses focos de calor não aparecem distribuídos pelas áreas indígenas, pelo contrário, esse volume de focos estão relativamente concentrados.

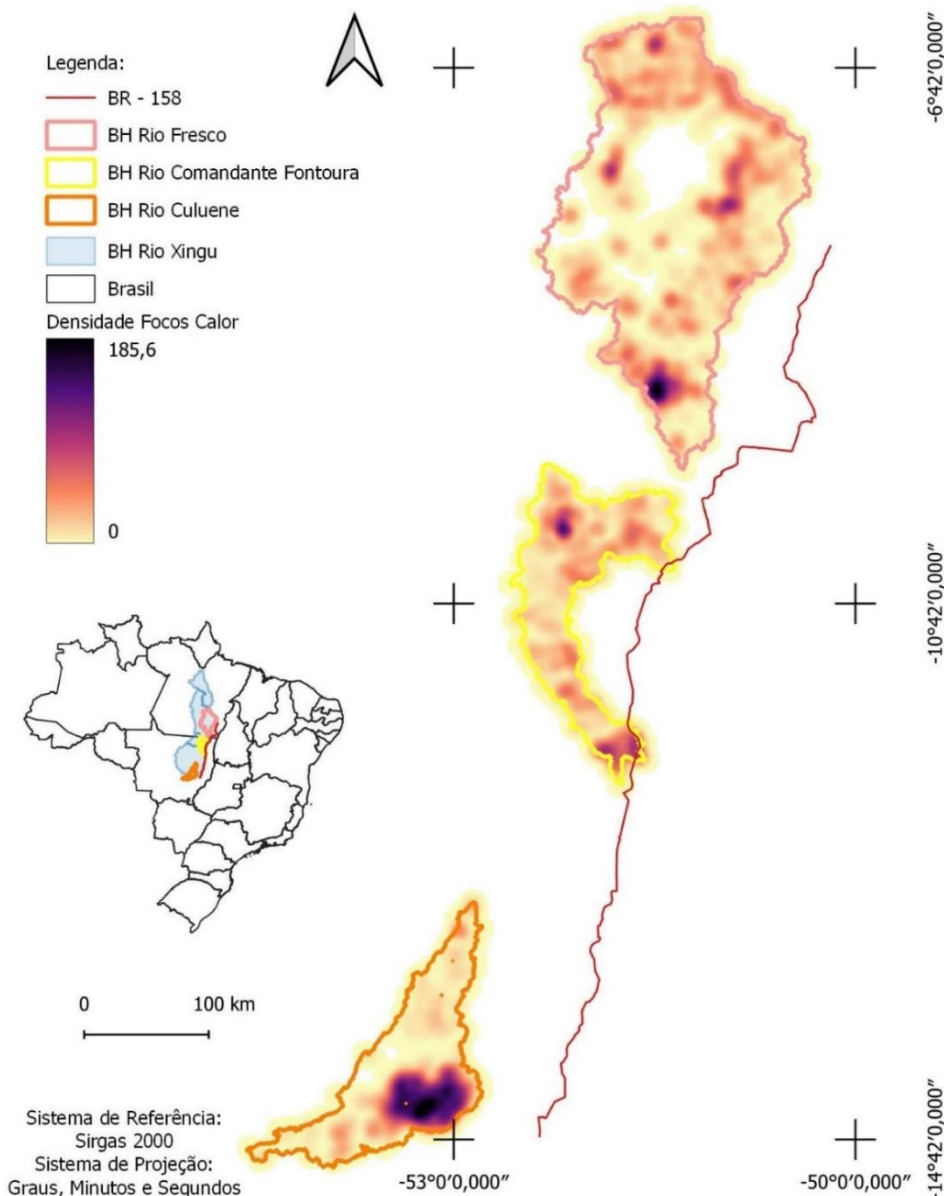


Figura 6. Mapa de densidade de Kernel dos Focos de calor registrados nas sub-bacias hidrográficas do Rio Xingu, para o intervalo do estudo. Adensamento considera os focos registrados dentro do raio de 1000m.

Para avaliar o desempenho dos índices de perigo foram calculados o Skill Score e a porcentagem de sucesso, para as bacias hidrográficas e para os anos com menor e maior registro de

ocorrência de focos de calor. Conforme pode ser observado na Tabela 11, tanto para o Skill Score quanto para a porcentagem de sucesso, o índice P-EVAP apresentou o melhor desempenho.

Tabela 11. Valores de Skill Score e porcentagem de sucesso dos índices de perigo de incêndio

	Valor	2018 ¹			2020 ²		
		FMA	P-EVAP	Ångstrom	FMA	P-EVAP	Ångstrom
Culuene	Skill Score	0,385	0,625	0,384	0,386	0,590	0,448
	Porcentagem sucesso	67,671	83,836	67,671	66,301	81,096	71,233
Comte. Fontoura ^a	Skill Score	0,411	0,602	0,646	0,539	0,641	0,545
	Porcentagem sucesso	69,863	83,288	84,932	77,808	84,658	78,356
Fresco	Skill Score	0,450	0,550	0,473	0,395	0,447	0,364
	Porcentagem sucesso	75,068	80,822	76,164	71,233	75,068	68,219

¹ano com menos ocorrência de incêndio na bacia, ²ano com mais ocorrência de incêndios na bacia

Conclusão

As sub-bacias têm a estação chuvosa compreendida de outubro e abril, já a estação seca entre os meses de maio e setembro. Na bacia hidrográfica do Rio Fresco, o total precipitado é maior que nas bacias hidrográficas do Rio Culuene e do Rio Comandante Fontoura. A temperatura do ar para as bacias é similar. A umidade relativa do ar na bacia hidrográfica do Rio Culuene, considerando o ápice da estação seca, atinge porcentagem menor que nas demais bacias.

Os índices de perigo de incêndio de Angstrom, FMA+ e P-EVAP apresentaram semelhanças nas suas respostas, demonstrando as estações de chuva e seca, bem como, os períodos de maior perigo para a ocorrência de incêndios vegetacionais e a variação na intensidade do risco de perigo e sua relação com as condições climáticas. **Angstrom**, demonstra que nos meses de junho a setembro, o comportamento nas bacias é semelhante, o número de dias com perigo de incêndio é igual ou superior a 84,16%. A **FMA+**, no período de junho a setembro, para as três bacias, apresenta 100% dos dias na classe de perigo alto e muito alto. Conforme **P-EVAP**, os meses de junho, julho e agosto, para as três bacias, apresentam quase todos os seus dias com alto ou muito alto perigo de incêndio.

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Culuene**, em média, 92,8% dos focos de calor registrados, aconteceram em meses de estiagem, sendo 73,5% do total ocorreram nos meses de agosto e setembro. Angstrom demonstrou que entre junho e setembro, o número de dias com perigo de incêndio é igual ou superior a 84%. O índice FMA+, apontou nesse mesmo período, 100% dos dias, independentemente da bacia hidrográfica, estão nas classes de perigo alto e muito alto. O índice P-EVAP, revelou que entre junho e agosto, 97,43% dos dias apresentam perigo alto ou muito alto de incêndio.

Na **sub-bacia hidrográfica do Rio Comandante Fontoura**, em média 29,1% dos focos de calor aconteceram em meses chuvosos e 70,9% ocorreram nos meses de seca, sendo que 64,1% do total dos focos de calor foram registrados entre junho e setembro, meses com a maior parte de seus dias classificados por Angstrom, FMA+ e P-EVAP na classe de perigo muito alto.

A **sub-bacia hidrográfica do Rio Fresco**, em média, tem 89,1% dos focos de calor registrados nos meses de seca, sendo agosto e setembro responsáveis por 71,7% do total de focos de calor, nesses meses a maioria dos dias foram classificados por Angstrom, FMA+ e P-EVAP, como sendo de muito alto perigo de incêndio.

Dentre os índices de perigo de incêndio analisados, P-EVAP apresentou os melhores resultados no Skill Score e na porcentagem de sucesso, para as três áreas.

Por fim, considerando as respostas dos índices de perigo e a ocorrência dos focos de calor, para as três bacias hidrográficas conclui-se que o período proibitivo para a realização de queimadas deveria compreender a totalidade dos meses de junho, julho, agosto e setembro.

Agradecimentos

Os autores externam agradecimentos à Universidade do Estado do Pará – UEPA pela concessão de Bolsa Estadual de Pós-Graduação (Portaria n. 808/20 de 06/03/2020) ao primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio com a bolsa produtividade em pesquisa do segundo autor (Processo 308784/2019-7) e do terceiro autor (Processo 305938/2019-3). Os autores também manifestam seu agradecimento à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização de dados utilizados na pesquisa.

Referências

Alencar, A., Rodrigues, L., & Castro, I. (2020). Amazônia em chamas: o que queima e onde. Nota Técnica, IPAM, 5, 1-14. Disponível: <<https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/08/NT5-pt-final.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANA, Agência Nacional de Águas (2022). Hidroweb: sistema de informações hidrológicas: séries históricas de estações. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

Ångström, A. (1949). Swedish meteorological research 1939-1948. *Tellus*. v. 1, n.1. p. 60-64.

Beck, J. A. (1995). Equations for the forest fire behaviour tables for Western Australia. *CALM Science*, 1(3), 325-348. Disponível em: <<https://www.victoriasforestryheritage.org.au/pi>

nfire/Beck_1995_EquationsForTheForestFireBehaviourTablesForWesternAustralia.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

Berton, J. C.; Tucci, C. E. M. (2001). Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, p. 177-241.

Bezerra, T. G., Ruschel, A. R., Emmert, F., & Nascimento, R. G. M. (2021). Changes caused by forest logging in structure and floristic diversity of natural regeneration: Relationship between climate variables and forest dynamics in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 482, 118862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118862>.

Bowman, D. M. (2023). Detecting, monitoring and foreseeing wildland fire requires similar multiscale viewpoints as meteorology and climatology. *Fire*, 6(4), 160. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6040160>.

Bradshaw, L. S., Deeming, J. E., Burgan, R. E., & Jack, D. (1984). The 1978 national fire-danger rating system: technical documentation. General Technical Report INT-169. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 44 p., 169. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_int/int_gtr169.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. DOI: <https://doi.org.ez182.periodicos.capes.gov.br/10.1038/nature11148>.

Carta, F., Zidda, C., Putzu, M., Loru, D., Anedda, M., & Giusto, D. (2023). Advancements in forest fire prevention: a comprehensive survey. *Sensors*, 23(14), 6635. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6040160>.

Casavecchia, B. H., de Souza, A. P., Stangerlin, D. M., Uliana, E. M., & Melo, R. R. (2019). Índices de perigo de incêndios em uma área de transição Cerrado-Amazônia. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(3), 842-854. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17756>.

Cheney, N. P., & Gould, J. S. (1995). Separating fire spread prediction and fire danger rating. *CALM Science Supplement*, 4, 3-8. Disponível em: 4223

- <<https://library.dbca.wa.gov.au/static/Journals/080291/080291-04.001.pdf>>. Acesso: 10 mai. 2022.
- Davies, H. F., Visintin, C., Murphy, B. P., Ritchie, E. G., Banks, S. C., Davies, I. D., & Bowman, D. M. (2023). Pyrodiversity trade-offs: A simulation study of the effects of fire size and dispersal ability on native mammal populations in northern Australian savannas. *Biological Conservation*, 282, 110077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110077>.
- Di Virgilio, G., Evans, J. P., Blake, S. A., Armstrong, M., Dowdy, A. J., Sharples, J., & McRae, R. (2019). Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophysical Research Letters*, 46(14), 8517-8526. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL083699>.
- Doerr, S. H., & Santín, C. (2016). Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150345. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022). Sistema De Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO). Dados meteorológicos. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SE&lang=pt_br>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- Field, R. D., Luo, M., Fromm, M., Voulgarakis, A., Mangeon, S., & Worden, J. (2016). Simulating the Black Saturday 2009 smoke plume with an interactive composition-climate model: Sensitivity to emissions amount, timing, and injection height. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(8), 4296-4316. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015JD024343>.
- Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., & Mena-Munguía, S. (2020). Revisión de métodos de sensores remotos para la detección y evaluación de la severidad de incendios forestales. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 273-283. DOI: <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.93682>.
- ICONA. (1993) Manual de Operaciones Contra Incendios Forestales. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura pesca y Alimentación, Madrid, Spain, 316p. Disponível em: <<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/media/group.do?path=1088234>>. Acesso em: 5 mai. 2022.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia (2022). BDMep: Banco de Dados Meteorológicos. Dados meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Modelo Digital de Elevação. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2022). Bdqueimadas: banco de dados queimadas do Brasil. Focos Calor satélite AquaMT. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- McArthur, A. G. (1967). Fire behaviour in eucalypt forests. Leaflet No. 107. Forest Research Institute, Forestry and Timber Bureau, Canberra. Disponível em: <<https://vgls.sdp.sirsidynix.net.au/client/search/asset/1299701/0>>. Acesso em: 5 mai. 2022.
- Mota, P. H. S., da Rocha, S. J. S. S., de Castro, N. L. M., Marcatti, G. E., de Jesus França, L. C., Schettini, B. L. S., ... & dos Santos, A. R. (2019). Forest fire hazard zoning in Mato Grosso state, Brazil. *Land use policy*, 88, 104206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104206>.
- Neger, C., León-Cruz, J. F., Galicia Sarmiento, L., & Manzo-Delgado, L. D. L. (2022). Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y bosques*, 28(2). DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822453>.
- Nieman, W. A., Van Wilgen, B. W., & Leslie, A. J. (2021). A review of fire management practices in African savanna-protected areas. *KOEDOE-African Protected Area Conservation and Science*, 63(1), 1655. DOI: 10.4102/koedoe.v63i1.1655.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., & Batista, A. C. (2006). Especificação de um sistema computacional integrado de controle de

- incêndios florestais. *Floresta*, 36(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v36i2.6458>.
- Nunes, T. F. B., Rosa, A. F. P., & Royer, R. (2020). Análise bibliométrica das cartas de controle multivariadas não paramétricas e dos métodos KNN, Kernel e Cópulas. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 90396-90410. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-449>.
- Peterson, D. A., Hyer, E. J., Campbell, J. R., Solbrig, J. E., & Fromm, M. D. (2017). A conceptual model for development of intense pyrocumulonimbus in western North America. *Monthly Weather Review*, 145(6), 2235-2255. DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0232.1>.
- Reis, M., Graça, P. M. L. A., Yanai, A. M., Ramos, C. J. P., & Fearnside, P. M. (2021). Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management*, 288, 112310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>.
- Rodrigues, M., Trigo, R. M., Vega-García, C., & Cardil, A. (2020). Identifying large fire weather typologies in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107789>.
- Sabino, M., Souza, A. P. D., Almeida, F. T. D., Zolin, C. A., & Lisboa, L. (2022). Desagregação de Chuvas Diárias no Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 427-439. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3GkHcFqtn8KYRZcvWfPWMgk/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- Sales, G. M., Pereira, J. L. G., Thalês, M. C., Pocard-Chapuis, R., & de Almeida, A. S. (2019). Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 14(1), 55-77. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v14i1.140>.
- Sampaio, O. B. (1999). Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos-SP. 157f, Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25618/T%20-%20OTAVIO%20BEZERRA%20SAMPAIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 5 mai. 2022.
- Shimabukuro, Y. E., Dutra, A. C., Arai, E., Duarte, V., Cassol, H. L. G., Pereira, G., & Cardozo, F. D. S. (2020). Mapping burned areas of Mato Grosso state Brazilian Amazon using multisensor datasets. *Remote Sensing*, 12(22), 3827. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12223827>.
- Soares, R. V. & Batista, A. C. (2007). Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, 250p.
- Soares, R. V. (1984). Prevenção e controle de incêndios florestais. Brasília, DF: ABEAS, 120p.
- Sousa, J. A. P., Nascimento Lopes, E. R., Duarte, M. L., Ewbank, H., & Lourenço, R. W. (2022). Forest fire risk indicator (FFRI) based on geoprocessing and multicriteria analysis. *Natural Hazards*, 114(2), 2311-2330. DOI: 10.1007/s11069-022-05473-x.
- Souza, A. P., Casavecchia, B. H., & Stangerlin, D. M. (2012). Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, 8(5). Disponível em: <<https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/553/491>> Acesso em: 5 mai. 2022.
- Souza, A. P., Lima, D. C., Casavecchia, B. H., Bouvié, L., Borella, D. R., & Carmo, F. H. (2020). Diurnal evolution of fire behavior and microclimate in areas of eucalyptus urograndis (clone h13) in the cerrado amazonia transition zone. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2579>.
- Strydom, S., & Savage, M. J. (2016). A spatio-temporal analysis of fires in South Africa. *South African Journal of Science*, 112(11-12), 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2016/20150489>.
- Tomzhinski, G. W. T., Coura, P. H. F., & do Couto Fernandes, M. (2011). Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. *Biodiversidade Brasileira*, 1(2), 201-211. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v1i2.140>.

- Torres, F. T. P., & Ribeiro, G. A. (2008). Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. *Floresta e Ambiente*, 15(2), 24-34. Disponível em: <<https://www.floram.org/article/588e221ae710ab87018b465c/pdf/floram-15-2-24.pdf>>. Acesso em: 5 mai. 2022.
- Torres, F. T. P., Ribeiro, G. A., Martins, S. V., & Lima, G. S. (2011). Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, 35, 143-150. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100017>.
- Van Wagner, C. E. (1987). Development and structure of the Canadian forest fire weather index system (Vol. 35). Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20180102193829/http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/19927.pdf>>. Acesso em: 5 mai. 2022.
- Viegas, D. X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A., & Sol, B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of wildland fire*, 9(4), 235-246. DOI: 10.1071/WF00015.
- Ziccardi, L. G., Thiersch, C. R., Yanai, A. M., Fearnside, P. M., & Ferreira-Filho, P. J. (2020). Forest fire risk indices and zoning of hazardous areas in Sorocaba, São Paulo state, Brazil. *Journal of forestry research*, 31(2), 581-590. DOI: 10.1007/s11676-019-00889-x.

Apêndice**Apêndice 1. Estações meteorológicas**

Estação	Estado	Código	Operador	Latitude	Longitude	Altitude
Água Azul do Norte	PA	TRMM.7439	AGRITEMPO	-6,50	-51,00	243,00
Água boa	MT	A908	INMET	-14,02	-52,21	440,00
Água boa	MT	TRMM.3483	AGRITEMPO	-14,25	-52,25	310,00
Água boa	MT	TRMM.3568	AGRITEMPO	-14,00	-52,25	395,00
Água boa	MT	TRMM.3569	AGRITEMPO	-14,00	-52,00	220,00
Alto boa vista	MT	TRMM.4459	AGRITEMPO	-11,75	-51,50	308,00
Aragarças	GO	A013	INMET	-15,90	-52,25	327,35
Campo verde	MT	A912	INMET	-15,53	-55,14	748,27
Canaã dos Carajás	PA	TRMM.7443	AGRITEMPO	-6,50	-52,00	196,00
Canaã dos Carajás	PA	TRMM.7444	AGRITEMPO	-6,50	-51,75	333,00
Conceição do Araguaia	PA	A241	INMET	-8,30	-49,28	175,74
Gaúcha do Norte	MT	A930	INMET	-13,18	-53,26	375,87
Gaúcha do Norte	MT	TRMM.3831	AGRITEMPO	-13,25	-53,50	355,00
Gaúcha do Norte	MT	TRMM.3832	AGRITEMPO	-13,25	-53,25	396,00
Gaúcha do Norte	MT	TRMM.3925	AGRITEMPO	-13,00	-53,50	296,00
Gaúcha do Norte	MT	TRMM.3926	AGRITEMPO	-13,00	-53,25	303,00
Marianópolis do TO	TO	A041	INMET	-9,58	-49,72	186,69
Nova Nazaré	MT	TRMM.3484	AGRITEMPO	-14,25	-52,00	235,00
Ourilândia do Norte	PA	TRMM.7286	AGRITEMPO	-6,75	-51,00	247,00
Paranatinga	MT	A915	INMET	-14,42	-54,04	476,91
Paranatinga	MT	TRMM.3390	AGRITEMPO	-14,50	-54,25	463,00
Paranatinga	MT	TRMM.3391	AGRITEMPO	-14,50	-54,00	466,00
Paranatinga	MT	TRMM.3475	AGRITEMPO	-14,25	-54,25	457,00
Paranatinga	MT	TRMM.3576	AGRITEMPO	-14,25	-54,00	384,00
Primavera do leste	MT	A923	INMET	-15,58	-54,38	680,00
Querência	MT	A916	INMET	-12,60	-52,16	355,00
Querência	MT	TRMM.4128	AGRITEMPO	-12,50	-53,00	316,00
Querência	MT	TRMM.4129	AGRITEMPO	-12,50	-52,75	329,00
Querência	MT	TRMM.4131	AGRITEMPO	-12,50	-52,25	347,00
Redenção	PA	A254	INMET	-8,04	-50,01	199,00
Redenção	PA	TRMM.6358	AGRITEMPO	-8,25	-50,25	208,00
Redenção	PA	TRMM.6359	AGRITEMPO	-8,25	-50,00	202,00
Redenção	PA	TRMM.6513	AGRITEMPO	-8,00	-50,25	360,00
Redenção	PA	TRMM.6514	AGRITEMPO	-8,00	-50,00	184,00
Ribeirão cascalheira	MT	TRMM.4132	AGRITEMPO	-12,50	-52,00	207,00
Santa Cruz do Xingu	MT	TRMM.5175	AGRITEMPO	-10,25	-52,50	323,00
Santa Cruz do Xingu	MT	TRMM.5176	AGRITEMPO	-10,25	-52,25	291,00
Santana do Araguaia	PA	A233	INMET	-9,34	-50,35	176,75
Santana do Araguaia	PA	TRMM.5599	AGRITEMPO	-9,50	-50,50	261,00
Santana do Araguaia	PA	TRMM.5600	AGRITEMPO	-9,50	-50,25	178,00
Santana do Araguaia	PA	TRMM.5749	AGRITEMPO	-9,25	-50,50	204,00
Santana do Araguaia	PA	TRMM.5750	AGRITEMPO	-9,25	-50,25	196,00
Santo Antônio do Leste	MT	A931	INMET	-14,93	-53,88	664,21
Santo Antônio do Leste	MT	TRMM.3221	AGRITEMPO	-15,00	-54,00	332,00
Santo Antônio do Leste	MT	TRMM.3222	AGRITEMPO	-15,00	-53,75	451,00
Santo Antônio do Leste	MT	TRMM.3306	AGRITEMPO	-14,75	-54,00	338,00
Santo Antônio do Leste	MT	TRMM.3307	AGRITEMPO	-14,75	-53,75	580,00

São Félix do Araguaia	MT	A921	INMET	-11,62	-50,73	201,37
São Felix do Araguaia	MT	TRMM.4460	AGRITEMPO	-11,75	-51,25	230,00
São Félix do Xingu	PA	A216	INMET	-6,64	-51,96	211,00
São Félix do Xingu	MT	TRMM.7282	AGRITEMPO	-6,75	-52,00	258,00
São Félix do Xingu	MT	TRMM.7283	AGRITEMPO	-6,75	-51,75	221,00
São Félix do Xingu	MT	TRMM.7438	AGRITEMPO	-6,50	-51,25	271,00
São José do Xingu	MT	A942	INMET	-10,48	-52,37	300,00
São José do Xingu	MT	TRMM.5045	AGRITEMPO	-10,50	-52,50	301,00
São José do Xingu	MT	TRMM.5046	AGRITEMPO	-10,50	-52,25	266,00
Serra dos Carajás	PA	A230	INMET	-6,08	-50,14	707,00
Serra Nova Dourada	MT	A943	INMET	-11,99	-51,43	441,00
Serra Nova Dourada	MT	TRMM.4349	AGRITEMPO	-12,00	-51,50	189,00
Serra Nova Dourada	MT	TRMM.4350	AGRITEMPO	-12,00	-51,25	183,00
Tucumã	PA	A234	INMET	-6,74	-51,14	320,93
Tucumã	PA	TRMM.7285	AGRITEMPO	-6,75	-51,25	267,00
Xinguara	PA	A247	INMET	-7,11	-49,93	245,00

Fonte: Adaptado de INMET (2022) e EMBRAPA-AGRITEMPO (2022).