

Preprint

**Pertencimento institucional****Resumo****Palavras chave:****Correspondência****Abstract****ORCID****Key words:**

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ, FORTALEZA, BRASIL

IDENTIFICATION OF PRIORITY AREAS FOR FOREST FIRE PROTECTION IN THE COCÓ STATE PARK, FORTALEZA, BRAZIL

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL PARQUE ESTATAL DE COCÓ, FORTALEZA, BRASIL

MAURICIO ALEJANDRO PEREA-ARDILA ^{1*}

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Campus do Pici, Bloco 911, CEP: 60440-554, Fortaleza (CE), Brasil, Tel.: (+55 85) 3366.9489, mauricio.perea@alu.ufc.br,

<https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>

*Autor correspondente

RESUMO

O Parque Estadual de Cocó (PEC) é crucial para a biodiversidade, mas enfrenta ameaças constantes de incêndios florestais. Este estudo visa identificar áreas prioritárias para a proteção contra incêndios no PEC. Utilizando critérios de perigo (combustíveis), risco (edificações, vias, focos históricos e declividades) e valor ecológico (zoneamento), foi empregado um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para criar quatro cenários que identificam áreas prioritárias. Foram identificados 749,55 ha com combustíveis vegetais e 39.991 propriedades a 500 metros do PEC, além de 2.630 vias próximas. De 2000 até meados de 2024, foram registrados 35 focos de calor, dos quais 40% ocorreram dentro do PEC. O zoneamento revelou 595,82 ha destinados à preservação, com 551,48 ha de combustíveis em alto perigo e 45,11 ha de edificações próximas em alto risco, enquanto 656,99 ha apresentaram alto valor de conservação. O bairro Edson Queiroz destacou-se com mais de 30% das áreas de alta prioridade identificadas em todos os cenários. As áreas identificadas devem orientar medidas preventivas e de manejo, como vigilância intensificada, técnicas de prevenção de incêndios, promoção de práticas sustentáveis e melhorias nas políticas de conservação, garantindo a integridade ecológica do PEC e mitigando os riscos relacionados à atividade humana nesses ecossistemas sensíveis.

Palavras-chave: Álgebra de mapas. Critérios. Fogo. Ponderação. Sistemas de informações geográficas.

ABSTRACT

The Cocó State Park (PEC) is crucial for biodiversity but faces constant threats from forest fires. This study aims to identify priority areas for fire protection within the PEC. Using criteria of hazard (fuels), risk (buildings, roads, historical fire hotspots, and slopes), and ecological value (zoning), a Geographic Information System (GIS) was employed to create four scenarios to identify priority areas. A total of 749.55 ha with vegetative fuels and 39,991 properties within 500 meters of the PEC were identified, along with 2,630 nearby roads. From 2000 to mid-2024, 35 heat sources were recorded, 40% of which occurred within the PEC. Zoning revealed 595.82 ha designated for preservation, with 551.48 ha of fuels at high hazard levels and 45.11 ha of nearby buildings at high risk, while 656.99 ha had high conservation value. The Edson Queiroz neighborhood stood out with over 30% of high-priority areas identified in all scenarios. The identified areas should guide preventive and management measures, such as intensified surveillance, fire prevention techniques, promotion of sustainable practices, and improvements in conservation policies. These actions aim to ensure the ecological integrity of the PEC and mitigate human-related risks in these sensitive ecosystems.

Keywords: Algebra of maps. Criteria. Fire. Weighting. Geographic information systems.

RESUMEN

El Parque Estadual de Cocó (PEC) es crucial para la biodiversidad, pero enfrenta amenazas constantes de incendios forestales. Este estudio busca identificar áreas prioritarias para la protección contra incendios en el PEC. Usando criterios de peligro (combustibles), riesgo (edificaciones, vías, focos históricos y pendientes) y valor ecológico (zonificación), se empleó un Sistema de Información Geográfica para crear cuatro escenarios que identifiquen áreas prioritarias. Se identificaron 749,55 ha con combustibles vegetales y 39.991 predios a 500 metros del PEC, además de 2.630 vías cercanas. Desde 2000 hasta mediados de 2024, se registraron 35 focos de calor, el 40% dentro del PEC. La zonificación reveló 595,82 ha destinadas a la preservación, con 551,48 ha de combustibles en alto peligro y 45,11 ha de edificaciones en alto riesgo, mientras que 656,99 ha tuvieron un alto valor de conservación. El barrio Edson Queiroz se destacó con más del 30% de áreas de alta prioridad identificadas en todos los escenarios. Las áreas identificadas deben guiar medidas preventivas y de manejo, como vigilancia intensificada, técnicas de prevención de incendios, promoción de prácticas sostenibles y mejoras en políticas de conservación, asegurando la integridad ecológica del PEC y mitigando riesgos humanos en estos ecosistemas.

Palabras clave: Álgebra de mapas. Criterios. Fuego. Ponderación. Sistemas de información geográfica.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais influenciam a dinâmica dos ecossistemas e a gestão do território; além de impactar processos globais, podem ter efeitos ecológicos positivos. No entanto, suas consequências destrutivas, junto com as perdas humanas e materiais, geralmente os tornam indesejáveis e requerem mitigação (SZPAKOWSKI; JENSEN, 2019). Estima-se que, globalmente, os incêndios queimam mais de 400 milhões de hectares anualmente (60 milhões de hectares na América Latina e no Caribe), principalmente devido a atividades humanas, causando danos ambientais e econômicos significativos (FAO, 2023).

O Brasil é um dos países mais afetados por incêndios em nível mundial. As mudanças no uso e na cobertura do solo, o desmatamento e o uso do fogo para converter florestas em terras agrícolas e pastos são as principais causas desses incêndios (MATAVELI et al., 2018; PINTO et al., 2021). Estudos evidenciaram que o período com maior probabilidade de incêndios de vegetação no Brasil é de agosto a novembro. No entanto, a temporada de incêndios varia regionalmente, sendo setembro e outubro os meses com maior concentração de incêndios em todas as regiões do país (PINTO et al., 2021).

As Unidades de Conservação (UCs) são descritas como uma área territorial com recursos ambientais representativos, estabelecida legalmente, com metas de conservação e gestão para garantir sua proteção no tempo (SEMA, 2023). No entanto, apesar desses atributos, os incêndios florestais estão presentes nesse tipo de áreas (COSTA et al., 2009). Estima-se que entre 2006 e 2012, o número total de incêndios e a superfície queimada nas UCs do Brasil foi de 1.873 incêndios e 853.230,61 ha queimadas (PINTO et al., 2021). Embora as UCs se destinem a proteger o meio ambiente, essas áreas continuam enfrentando diversas degradações devido ao uso inadequado do fogo para renovar pastagens e eliminar resíduos de culturas (PEREIRA; FIEDLER; DE MEDEIROS, 2004). Os incêndios em áreas protegidas são uma das principais causas de alteração e destruição da flora e fauna, comprometendo seus recursos naturais (MORELLI; SETZER; CRISTINA, 2009).

O Parque Estadual do Cocó (PEC) é uma das principais UCs integrais no Ceará, dedicado a preservar a biodiversidade e assegurar as funções ambientais, focando especialmente na proteção do rio principal da bacia do Cocó (MENEZES VASCONCELOS et al., 2019). O PEC, situado na cidade de Fortaleza, frequentemente experimenta conflitos com os humanos, manifestados em áreas desmatadas e uma alta incidência de incêndios florestais tanto dentro do PEC quanto em seus limites com o entorno urbano (EUFRÁSIO, FILHO; ARAÚJO, 2021). Dois grandes incêndios ocorridos dentro do PEC (novembro de 2021 e janeiro de 2024) afetaram uma área de 62,5 hectares, demonstrando a vulnerabilidade e o impacto negativo que esses eventos têm no PEC (PEREA-ARDILA; MUÑOZ, 2024; PEREA-ARDILA; MUÑOZ; SOPCHAKI, 2023).

Por essa razão, identificar áreas prioritárias para a gestão de incêndios florestais é essencial no planejamento da proteção de recursos naturais (GUTIÉRREZ LÓPEZ et al., 2019). As áreas prioritárias permitem mapear zonas vulneráveis ao fogo e garantir a alocação precisa de recursos e equipamentos para a prevenção e controle de incêndios (JUVANHOL et al., 2021). Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são cruciais na gestão florestal graças à sua capacidade de modelagem computacional, empregando diversas técnicas para avaliar o risco de incêndios de maneira efetiva (FLORES GARNICA et al., 2016a; JAISWAL et al., 2002). A maioria dos mapas de áreas prioritárias para a proteção de incêndios florestais emprega SIG, que incluem dados sobre topografia, vegetação, uso do solo, população e assentamentos (DONG et al., 2005). Em conjunto, essas ferramentas são cada vez mais utilizadas em todos os aspectos da gestão de incêndios florestais (GIGOVIC et al., 2018).

Este estudo tem por objetivo identificar áreas prioritárias para a proteção contra incêndios florestais no Parque Estadual de Cocó, Fortaleza, Brasil, usando SIG e relacionando variáveis

que contemplem o perigo, risco e valor ecológico do PEC. Espera-se que os resultados deste estudo permitam fornecer uma abordagem integral para a gestão de incêndios e a conservação do PEC por parte dos tomadores de decisão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O PEC (Trecho 1) está localizado na área metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará, Brasil (Figura 1). Encontra-se entre as coordenadas geográficas $3^{\circ} 44' 37,44''$ e $3^{\circ} 47' 15,41''$ de latitude sul e entre $38^{\circ} 30' 45,96''$ e $38^{\circ} 25' 52,36''$ de longitude oeste (PEREA-ARDILA; MUÑOZ; SOPCHAKI, 2023). O clima da região é semiárido, com temperaturas médias de 26°C e uma precipitação anual média de 1.600 mm. O clima é classificado como Aw segundo Köppen, com os meses mais chuvosos entre fevereiro e maio (BRANCO, 2014; PASQUINI, 2020). O PEC destaca-se pela presença de extensas áreas com manguezais, um grande complexo estuarino e planícies fluvio-marinhas (SOUSA; SANTOS, 2016). Além disso, o PEC identifica o segundo semestre como a "temporada normal de incêndios florestais". Em particular, novembro destaca-se como o mês com o maior número de incidentes e o maior risco de incêndios florestais (EUFRÁSIO; FILHO; ARAÚJO, 2021).

Figura 1 – Localização da área de estudo, Parque do Cocó, Fortaleza, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

METODOLOGIA

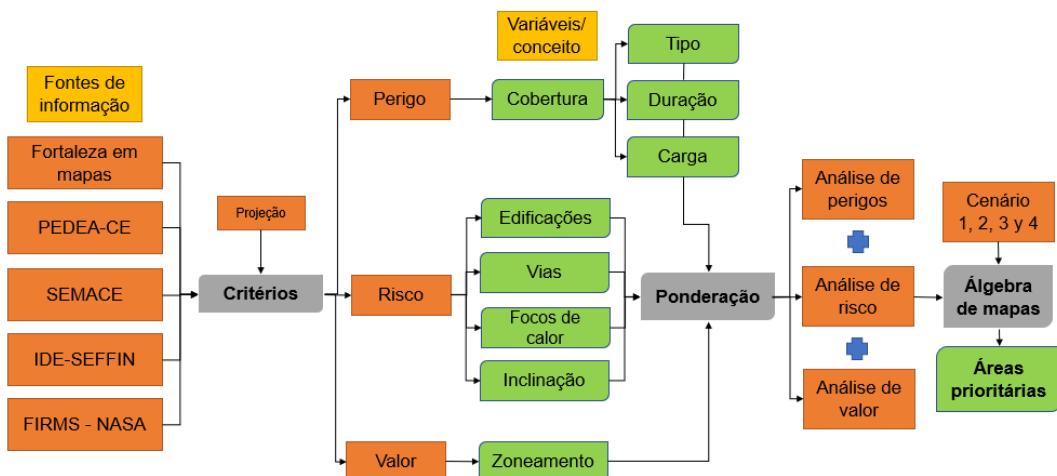
A identificação de áreas para a proteção contra incêndios florestais tem como objetivo identificar zonas onde se possam destinar recursos financeiros, humanos e logísticos para a prevenção, combate e recuperação de áreas afetadas por incêndios (FLORES GARNICA et al., 2018a). Isso é alcançado por meio da geração de cartografia temática de critérios específicos (perigo, risco e valor) definidos com base em uma série de variáveis com ponderações (Flores-GARNICA; CASILLAS DÍAZ; MACÍAS MURO, 2019). A seguir, apresenta-se a definição de cada critério estabelecido.

- **Perigo:** A análise aborda fatores ambientais, características do combustível e condições do mesmo que impactam a propagação e efeitos dos incêndios. Inclui como o fogo se comporta em diferentes ecossistemas (FLORES GARNICA et al., 2018b).
- **Risco:** Trata-se de condições variáveis que podem propiciar o início de incêndios florestais, como a proximidade a áreas urbanas, densidade populacional, acessibilidade por estradas, tipos de vias, proximidade a focos anteriores, causas e áreas florestais afetadas (FLORES GARNICA et al., 2018a).
- **Valor:** Refere-se a avaliar os aspectos sociais, culturais, econômicos e ecológicos que são importantes para proteger contra os efeitos dos incêndios florestais (FLORES GARNICA et al., 2016b).

As análises foram realizadas com o apoio do software de SIG ArcGIS 10.8 por meio dos módulos de geoprocessamento, e as informações foram processadas no sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zone 24S e no limite da área de estudo. A Figura 2 apresenta o fluxo implementado para esse fim.

4

Figura 2 – Fluxo de trabalho para a identificação de áreas prioritárias



Fonte: elaborada pelo autor.

Fontes de informação

Foi realizada uma busca por variáveis especializadas relacionadas a cada critério em diferentes plataformas e infraestruturas de dados espaciais disponíveis em Fortaleza que incluíam variáveis relacionadas a cada critério (Tabela 1). Essas foram acessadas em formatos shapefile, particularmente os focos de calor estavam relacionados aos incêndios ativos históricos registrados no FIRMS que contemplavam uma temporalidade de 2000 até o primeiro semestre de 2024.

Tabela 1 – Fontes de informações geográficas

Variável	Ano	Formato	Fonte
Cobertura/combustível	2020	Shapefile	PEDEA-CE
Edificações	2016	Shapefile	IDE SEFIN
Vias	2017	Shapefile	Fortaleza em mapas
Focos históricos	2000-2024	Shapefile	FIRMS-NASA
Linhos de contorno	2016	Shapefile	PEDEA-CE

Fonte: elaborada pelo autor.

Na tabela 2, observam-se as variáveis e os intervalos de ponderação propostos. Para o perigo, foram determinados 3 conceitos a partir da camada de coberturas, baseados na metodologia do IDEAM (2011) que desenvolveu um modelo de combustíveis refletindo a condição pirogênica da vegetação. Neste caso, o tipo de combustível foi reclassificado com base na cobertura vegetal, interpretando os tipos de cobertura conforme os combustíveis dominantes, atribuindo um valor de ponderação com base em sua condição (leve ou pesado). Da mesma forma, para a duração do combustível de acordo com as coberturas predominantes, foi atribuída uma ponderação baseada na duração dos combustíveis. Por fim, foi ponderada a partir de informações específicas sobre a biomassa de diferentes tipos de cobertura (expressa em toneladas por hectare); foi gerada uma classificação das coberturas (carga de combustível) com base nos conteúdos máximos de biomassa aérea do dataset de Santoro; Cartus, (2023).

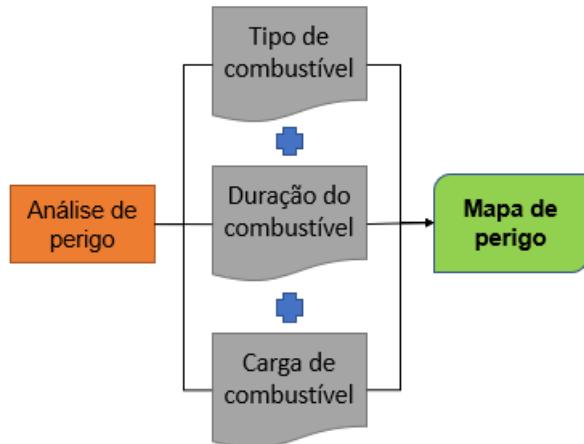
Tabela 2 – Variáveis e intervalos de ponderação

Critérios	Variável	Conceito	Ponderação
Perigo	Tipo de combustível	Não combustível	0
		Florestas	1
		Arbustos	2
		Ervas	3
		Pastagens	4
		Não combustível	0
Perigo	Duração do combustível	Áreas verdes urbanas / pastagens limpas	1
		Arbustos abertos/arbustos arbustivos	2
		Florestas densas	3
		Não combustível	0
		<1 ton/ha	1
		1-50 ton/Ha	2
Carga de combustível		50 a 100 ton/Ha	3
		>100 ton/ha	4
		0-100 m	4
		101-250 m	3
		251-500 m	2
		> 500 m	1
Risco	Proximidade com edifícios	0-100 m	4
		101-250 m	3
		251-500 m	2
		> 500 m	1
		0-100 m	3
		101-250 m	2
Risco	Proximidade de vias	> 500 m	1
		0-100 m	3
		101-200 m	2
		>200 m	1
		>55%	4
		30-54%	3
Valor	Inclinação	6-30%	2
		1-5%	1
		Zona de Preservação	3
		Zona de Conservação	3
		Zona de Adequação Ambiental	2
		Zona de Uso Moderado	1
Fonte: elaborada pelo autor.			

Álgebra de mapas

Nessa etapa, uma vez obtidos os intervalos de ponderação de cada variável, eles são representados cartograficamente pela adição dos pesos de cada variável (Figura 3). O resultado final integra as avaliações de perigo, risco e valor (FLORES GARNICA et al., 2018a).

Figura 3 – Exemplo de álgebra de mapa para obter o mapa de perigo



6

Fonte: elaborada pelo autor.

Da mesma forma, os três mapas (perigo, risco e valor) são integrados e, por meio de uma sobreposição ponderada, são obtidos quatro cenários, por exemplo, o primeiro cenário quando os três critérios são igualmente importantes (33,33%), o segundo cenário quando o mapa de perigo obtém 50% de importância, o segundo quando o mapa de risco obtém 50% de importância e o terceiro quando o mapa de valor obtém 50% de importância. Isso é feito para observar a influência dos critérios selecionados

Por fim, são definidas classes ou faixas de ponderação para identificar áreas prioritárias. Os valores integrados desses critérios são classificados em três níveis por intervalos iguais: alto, médio e baixo. As áreas de prioridade muito alta são mostradas em tons de vermelho, as áreas de prioridade média em amarelo e as áreas de prioridade mais baixa em tons de verde.

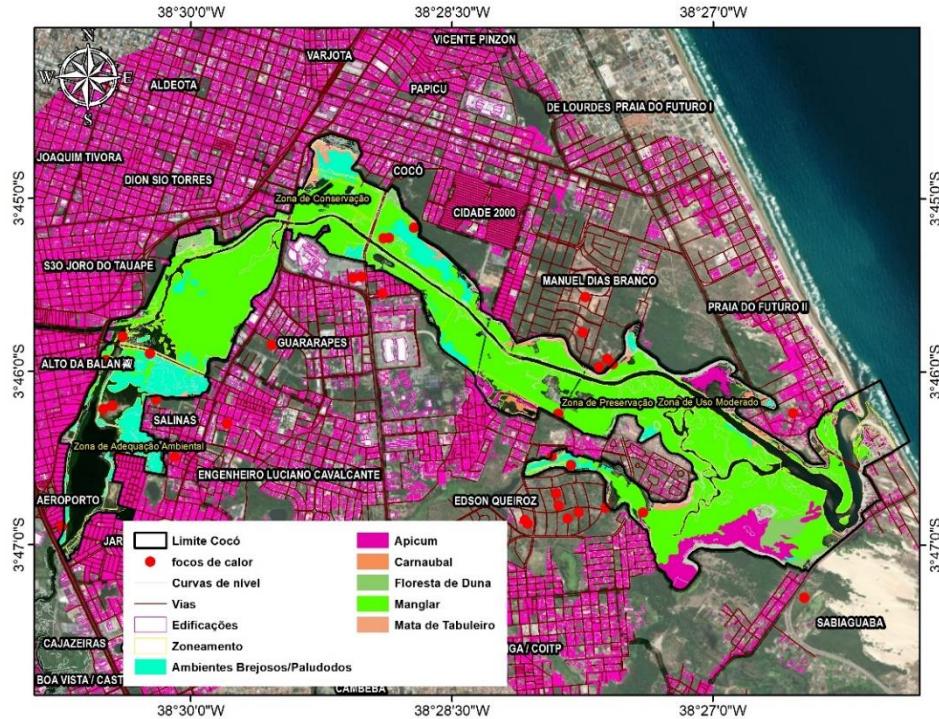
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fontes de informação

No tema das coberturas, encontrou-se um total de 749,55 ha relacionadas a algum tipo de combustível vegetal (Figura 4). Os manguezais obtiveram 71,61% do total, seguidos por ambientes brejosos e paludosos (brejos) com 14,13%. Além disso, o Apicum e a floresta de dunas representaram 5,69% e 4,81%, respectivamente, enquanto a mata de tabuleiro representou 2,92%. Em menor medida, houve a presença do Carnaubal com 0,84%.

Quanto à proximidade de edificações, num raio de 500 metros do limite do PEC, foi possível identificar pelo menos 39.991 propriedades, além da existência de 2.630 vias próximas no PEC. Em relação à ocorrência histórica de incêndios, foram registrados 35 focos de calor desde 2000 até meados de 2024, sendo que 40% (14) ocorreram dentro no PEC. Na zoneamento, foram encontradas 595,82 ha destinadas à preservação, 172,22 ha para adequação ambiental, além de 74,12 ha e 60,96 ha destinados ao uso moderado e à conservação, respectivamente.

Figura 4 – Fontes de informação próximas no PEC



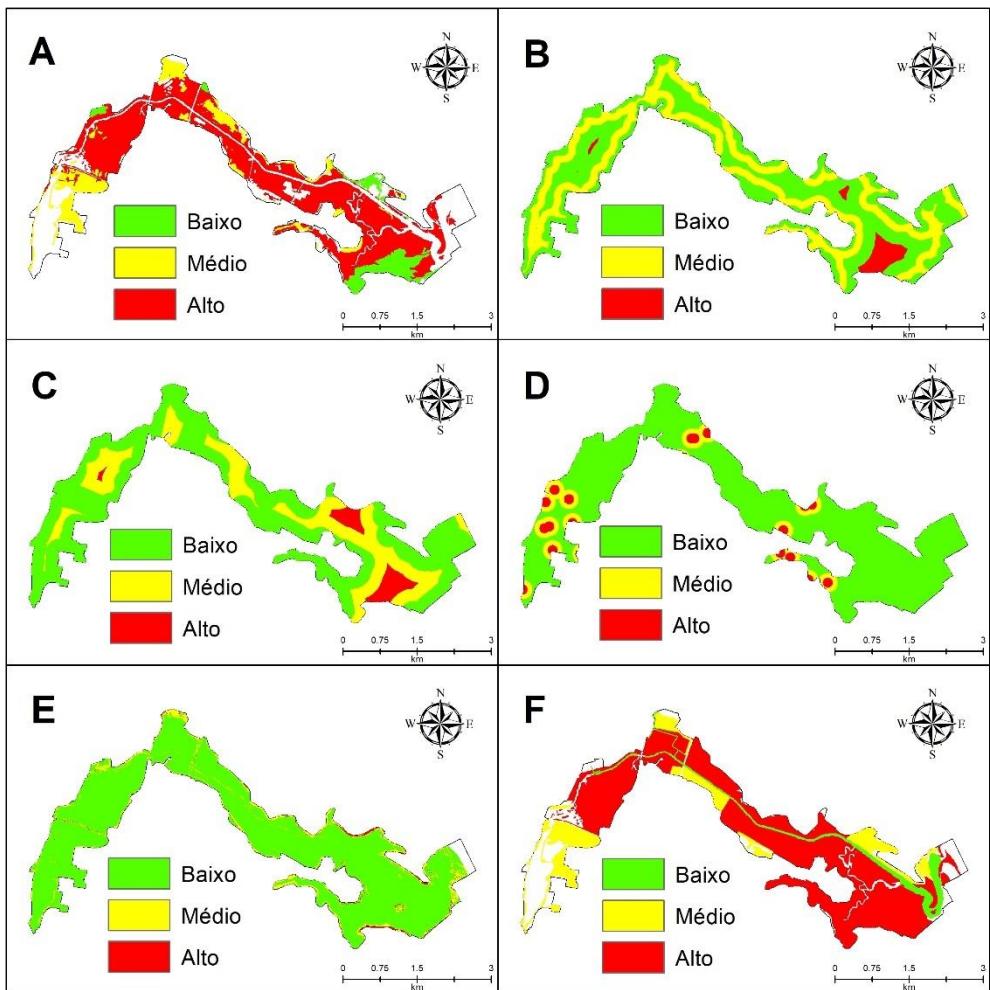
Fonte: elaborada pelo autor.

7

Critérios e ponderação

Para a variável de combustível, aproximadamente 79,77 ha apresentaram um nível de perigo baixo, 128,21 ha um nível médio e 551,48 ha um nível alto de perigo, principalmente associados às coberturas de manguezal (Figura 5A). Quanto à proximidade às edificações, apenas 45,11 ha estavam em alto risco na zona leste no PEC (figura 5B). Da mesma forma, a proximidade às vias representou apenas 58,95 ha de alto risco (figura 5C). Por outro lado, os focos de calor apresentaram 39,44 ha em alto risco, localizados principalmente a oeste no PEC. As inclinações representaram 11,71 ha em alto risco (figura 5E). Por fim, 656,99 ha representaram um alto valor associado às zonas de preservação e conservação (figura 5F).

Figura 5 – Critérios e ponderações das variáveis no PEC



Fonte: elaborada pelo autor.

Álgebra de mapas

Os resultados de cada cenário estão na figura 6. Para o cenário que teve a mesma influência nos três critérios (744,02 ha), foram obtidos 0,95% (baixa), 78,26% (média) e 20,79% (alta) de áreas de alta prioridade. Destaca-se que o bairro Edson Queiroz apresentou 39,25% de áreas de alta prioridade, localizadas no nordeste do bairro ao longo da fronteira que separa o PEC (Figura 6A). Por outro lado, os bairros Aerolândia e Salinas apresentaram 8,95% e 14,98% de áreas de alta prioridade, respectivamente, localizadas a oeste ao longo da fronteira no PEC.

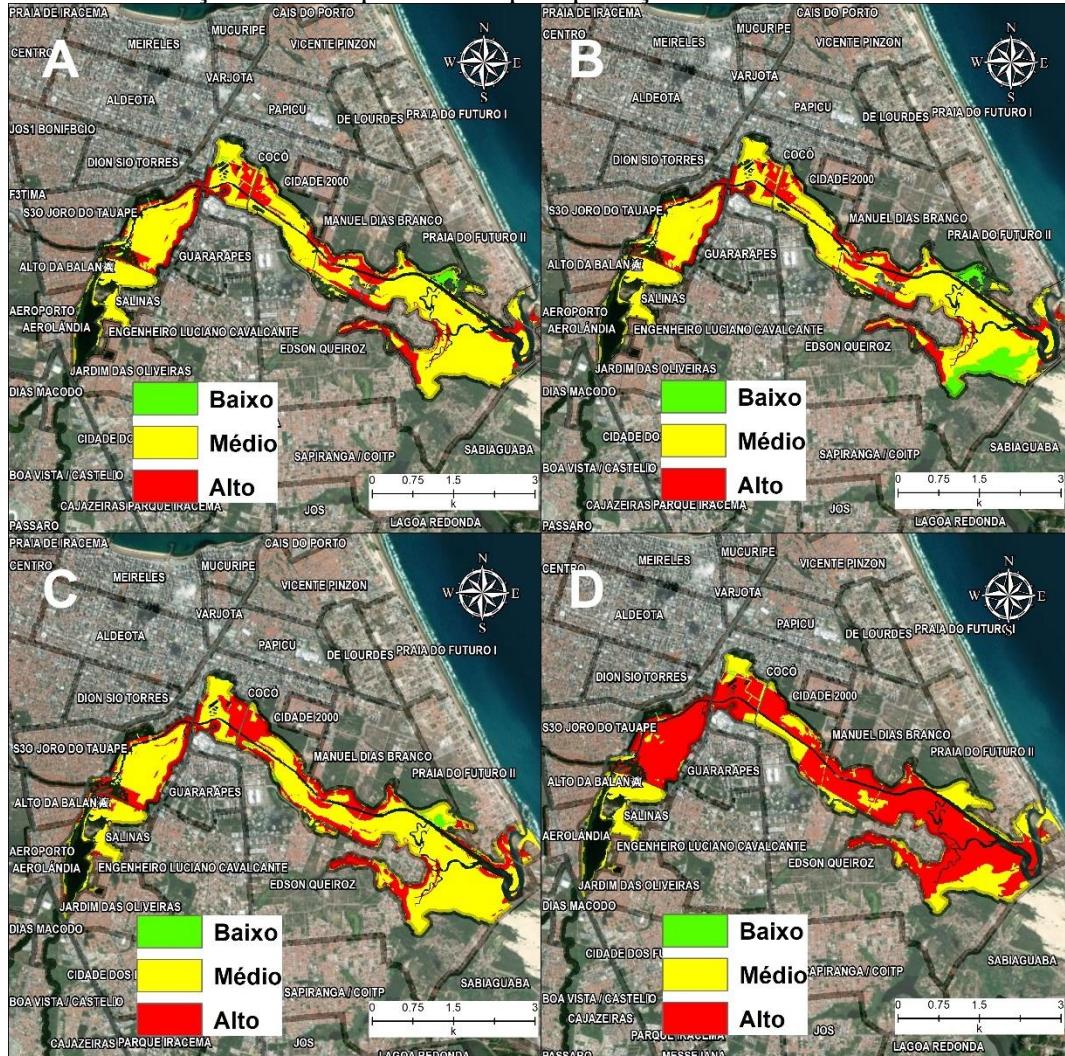
Para o cenário que obteve 50% de prioridade no critério de perigo (744,28 ha), foram obtidos 8,34% (baixa), 71,35% (média) e 20,29% (alta) de áreas prioritárias. O bairro Edson Queiroz apresentou 39,64% de áreas de alta prioridade, localizadas no nordeste do bairro ao longo da fronteira no PEC (Figura 6B). Além disso, os bairros Aerolândia e Salinas obtiveram 8,95% e 14,98% de áreas de alta prioridade, respectivamente, ao longo da fronteira no PEC.

Por outro lado, para o cenário que obteve 50% de prioridade no critério de risco (819,28 ha), foram obtidos 0,79% (baixa), 71,82% (média) e 27,37% (alta) de áreas prioritárias. Destaca-se o bairro Edson Queiroz, que obteve 36,01% de áreas de alta prioridade, principalmente no nordeste e centro-norte do bairro ao longo da fronteira no PEC (Figura 6C). O bairro Salinas também se destacou com 13,60% de áreas de alta prioridade, localizadas ao longo da fronteira no PEC.

Para o cenário que obteve 50% de prioridade no critério de valor (819,52 ha), foram obtidos 0,10% (baixa), 35,37% (média) e 64,51% (alta) de áreas prioritárias. O bairro Edson Queiroz apresentou 36% de áreas de alta prioridade, cobrindo toda a fronteira norte do bairro

ao longo dos limites no PEC (Figura 6D). Já o bairro Salinas apresentou 13,60% de áreas de alta prioridade, principalmente dentro no PEC.

Figura 6 – Identificação de áreas prioritárias para proteção contra incêndios florestais no PEC



Fonte: elaborada pelo autor.

Identificação das coberturas indicou a importância do manguezal (71,61% do total) na estrutura no PEC; esses ecossistemas são considerados sensíveis ao fogo devido à maioria das espécies não possuírem estratégias adaptativas a esse fenômeno. Além disso, esses ecossistemas apresentam condições microclimáticas que limitam a ignição e a propagação natural do fogo (PARRA-LARA; BERNAL-TORO, 2010). Da mesma forma, o brejo está localizado em áreas normalmente inundadas na maior parte do tempo. No entanto, durante a estação seca, devido às condições de seca, tornam-se o combustível ideal para a ignição (FUNCAP, 2024). Por exemplo, há registros de que essas áreas foram afetadas por incêndios durante períodos de menor pluviosidade no PEC (PEREA-ARDILA; MUÑOZ, 2024; PEREA-ARDILA; MUÑOZ; SOPCHAKI, 2023).

Por outro lado, a alta densidade de edificações e vias ao redor no PEC representa um maior risco de interação humana com o ecossistema e aumenta a acessibilidade e potencialmente o risco de incêndios florestais. A maioria dos incêndios florestais (95%) é causada pelo ser humano, e a frequência dos incêndios tende a correlacionar positivamente com a população e a densidade de estradas (MOHAMMED et al., 2022; SYPHARD et al., 2007; SYPHARD; KEELEY, 2015).

Além disso, a proporção significativa (40%) de focos de calor ocorreu dentro dos limites no PEC, o que poderia indicar que o PEC é particularmente vulnerável a incêndios florestais.

Estudos, como o de Eufrásio; Filho; Araújo, (2021) confirmaram que historicamente o PEC sustenta um grande número de incêndios. O parque possui um plano de manejo e um zoneamento onde cada zona possui características únicas, graus específicos de proteção e probabilidades de intervenção humana (PASQUINI, 2020). No entanto, apesar de este plano contemplar a proibição de queimadas dentro dos limites no PEC, essas atividades são frequentemente realizadas dentro e ao redor no PEC (EUFRÁSIO; FILHO; ARAÚJO, 2021).

A análise dos critérios e ponderações associados aos combustíveis revelou uma alta periculosidade desses combustíveis; destacou-se a vulnerabilidade desses ecossistemas a uma alta probabilidade de queima, propagação e manutenção de incêndios florestais (IDEAM, 2011). O maior perigo desses combustíveis é representado no segundo semestre do ano, quando as condições de precipitação escassa criam um ambiente propício para a seca, tornando os combustíveis mais vulneráveis a incêndios (EUFRÁSIO; FILHO; ARAÚJO, 2021). Em relação ao risco, o PEC é uma área crítica que tem sido historicamente afetada por focos de calor. Este estudo identificou que o valor ecológico no PEC é consideravelmente alto, com áreas identificadas como essenciais para a biodiversidade e integridade ecológica (PASQUINI, 2020).

Por outro lado, a implementação de cenários direcionados conforme os critérios neste estudo, destacou as áreas críticas que requerem atenção prioritária na gestão e conservação no PEC. O uso de sobreposição ponderada é amplamente utilizado no cálculo de ponderações numéricas e na previsão de cenários para identificação de áreas prioritárias (DJABRI et al., 2023). Em todos os cenários, o bairro Edson Queiroz repetidamente apresentou áreas de alta prioridade para proteção contra incêndios, especialmente em sua fronteira com o PEC. Isso indica a necessidade de desenvolver estratégias de manejo e prevenção específicas para essa área. Além disso, a variabilidade nas áreas de alta prioridade sob diferentes cenários destaca a importância de considerar múltiplos critérios na gestão integrada de incêndios florestais (ABEDI, 2022). A alta prioridade de áreas dentro no PEC, especialmente sob o critério de valor, ressalta a necessidade de proteger esses ecossistemas valiosos contra incêndios florestais.

Além disso, a implementação de vigilância de pontos críticos focada em monitoramento preventivo é crucial. É essencial desenvolver e aplicar estratégias de prevenção, sistemas de alerta precoce e intervenções coordenadas para proteger tanto as áreas ecológicas quanto as próximas a infraestruturas humanas (CARTA et al., 2023). Essas descobertas destacam a importância de uma abordagem multifacetada considerando as diversas fontes de perigo, risco e os valores ecológicos no PEC. A identificação de áreas prioritárias é fundamental para uma alocação eficiente de recursos e implementação de estratégias de conservação mais eficazes em face do aumento de incêndios florestais (GUTIÉRREZ LÓPEZ et al., 2019). Eses tipos de abordagens têm sido bem-sucedidos em outros países, utilizando ferramentas tecnológicas como os SIG (FLORES GARNICA et al., 2018a; GAI; WENG; YUAN, 2011; GIGOVIĆ et al., 2018; JAISWAL et al., 2002).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram identificadas áreas prioritárias para proteção contra incêndios florestais no PEC, em Fortaleza, Brasil, utilizando SIG. Esse método permitiu estabelecer zonas de atenção prioritária. Os manguezais junto com os brejos são extremamente vulneráveis ao fogo, pois esses ecossistemas carecem de mecanismos adaptativos contra incêndios e possuem condições microclimáticas que dificultam a ignição e a propagação natural do fogo. Durante a estação seca, essas áreas se tornam altamente inflamáveis, aumentando significativamente o risco de incêndios florestais.

A alta densidade de edificações e vias próximas no PEC aumenta a interação humana, elevando o risco de ignição de incêndios florestais. O fato de 40% dos focos de calor terem sido encontrados dentro no PEC destaca a vulnerabilidade do parque a incêndios. Esses resultados enfatizam a necessidade de desenvolver estratégias específicas de manejo e prevenção para

proteger tanto as áreas ecológicas quanto as zonas adjacentes às infraestruturas humanas, especialmente nas fronteiras com o bairro Edson Queiroz.

O PEC possui um alto valor ecológico, com áreas cruciais para a biodiversidade e integridade ecológica. É essencial implementar medidas de vigilância e monitoramento preventivo. Uma abordagem integrada na gestão de incêndios, que leve em consideração múltiplos critérios e cenários, é fundamental para a alocação eficaz de recursos e a proteção desses valiosos ecossistemas diante do crescente risco de incêndios florestais no futuro.

Algumas recomendações para melhorar esse tipo de análise poderiam incluir a melhoria da qualidade dos dados para a definição de áreas prioritárias, garantindo dados sempre atualizados e na escala apropriada para os critérios utilizados. Além disso, os critérios de ponderação das variáveis usadas para avaliar perigo, risco e valor estão sujeitos a interpretações subjetivas. Diferentes especialistas podem atribuir ponderações diferentes a cada variável, o que pode resultar em variações nas áreas prioritárias identificadas.

É importante também reconhecer que algumas variáveis relevantes podem não ter sido consideradas nesta análise. Variáveis como atividades humanas não registradas (por exemplo, projetos atuais e futuros de construções) ou mudanças climáticas recentes que possam influenciar a dinâmica de incêndios florestais não foram incluídas no enfoque atual.

REFERÊNCIAS

ABEDI, R. Application of multi-criteria decision-making models to forest fire management. **International Journal of Geoheritage and Parks**, v. 10, n. 1, p. 84–96, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.02.005>.

BRANCO, K. **Microclimas e áreas verdes na cidade de Fortaleza - CE**. 2014. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/20229/1/2014_dis_kgcbranco.pdf>

CARTA, F; ZIDDA, C; PUTZU, M; LORU, D; ANEDDA, M; GIUSTO, D. Advancements in forest fire prevention: a comprehensive survey. **Sensors**, v. 23, n. 14, 2023.
<https://doi.org/10.3390/s23146635>.

COSTA, E; FIEDLER, N; MEDEIROS, M; WANDERLEY, F. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação - Estudo de caso na Estação Ecológica de Águas emendadas, distrito federal. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 195–206, 2009.
<https://doi.org/10.5902/19805098410>.

DJABRI, A; BOUHATA, R; GUELLOUH, S; BENSEKHLIA, A. Wildfire vulnerability assessment and mapping using remote sensing, gis and weighted overlay method in the eastern aures in Khencela, Algeria. **Geoadria**, v. 28, n. 2, p. 191–210, 2023.
<https://doi.org/10.15291/geoadria.4218>.

DONG, X; LI-MIN, D; GUO-FAN, S; LEI, T; HUI, W. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. **Journal of Forestry Research**, v. 16, n. 3, p. 169–174, 2005. <https://doi.org/10.1007/BF02856809>.

EUFRÁSIO, J; FILHO, F; ARAÚJO, A. Análise de ocorrências de incêndios florestais na área do Parque Estadual do Cocó, região metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 563–569, 2021.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO. **Nuestros Bosques Siguen Quemándose.** Ecuador, 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/cc6237es/cc6237es.pdf>>.

FLORES-GARNICA, J; CASILLAS DÍAZ, U; MACÍAS MURO, A. Proceso estandarizado para generar cartografía de áreas prioritarias contra incendios forestales. Em: Memorias Del Quinto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación, Y Economía De Los Incendios Forestales: Servicios Ambientales E Incendios Forestales 2019, Anais [...].p. 201–216. Disponível em: <<https://research.fs.usda.gov/treesearch/57742>>

FLORES GARNICA, J; CASILLAS DÍAZ, U; GARCIA BERNAL, J; FLORES RODRÍGUEZ, G; LOMELÍ ZAVALA, M. **Cartografía estatal de areas prioritarias contra incendios forestales en la república mexicana.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México D.F, 2018. a. 178p.

FLORES GARNICA, J; BENAVIDES SOLORIO, J; CASTILLAS DÍAZ, U; HERNÁNDEZ NAVARRO, M; LEAL AGUAYO, H. **Manual para la elaboración de mapas de riesgo de incendios forestales.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Jalisco, 2016. 121p.

FLORES GARNICA, J; BENAVIDES SOLORIO, J; CASTILLAS DÍAZ, U; LEAL AGUAYO, H. **Manual para la elaboración de mapas de valor de incendios forestales.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2016. b. 174p.

FLORES GARNICA, J; BENAVIDES SOLORIO, J; CASTILLAS DÍAZ, U; LEAL AGUAYO, H; GALLEGOS RODRÍGUEZ, A; HERNÁNDEZ ÁLVAREZ, E. **Manual para la elaboración de mapas de peligro de incendios forestales usando arcgis 10.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2018. 140p.

Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP. RestauraCocó - **Restauração ecológica e gestão participativa da área incendiada do Parque Estadual do Cocó.** Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2024/04/RESTAURACOCO_11-04-24.pdf>

GAI, C; WENG, W; YUAN, H. **GIS-based forest fire risk assessment and mapping.** Em: 2011 Fourth International Joint Conference On Computational Sciences And Optimization 2011, Kunming. Anais [...]. Kunming: IEEE, 2011. p. 1240–1244. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5957877/>>.

GIGOVIĆ, L; JAKOVLJEVIĆ, G; SEKULOVIĆ, D; REGODIĆ, M. GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: nevesinje, Bosnia and Herzegovina. **Tehnicki vjesnik**, v. 25, n. 3, p. 891–897, 2018. <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>.

GUTIÉRREZ LÓPEZ, L; LOPEZ BAUTISTA, O; ORTIZ BARRIOS, R; GARZÓN TRINIDAD, A; LEMUEL CRUZ SANTIAGO, O. Zonificación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales en San Esteban Atlatlahuca, Oaxaca. **Revista Mexicana de Agroecosistemas**, v. 6, n. 1, p. 57–66, 2019.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. **Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal -**

Escala 1:100.000/ajustado, Bogotá D.C, 2011. 140p.

JAISWAL, R; MUKHERJEE, S; RAJU, K; SAXENA, R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5).

JUVANHOL, R; FIEDLER, N; DOS SANTOS, A; DA SILVA, G; OMENA, M; EUGENIO, F; PINHEIRO, C; FILHO, A. Gis and fuzzy logic applied to modelling forest fire risk. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 93, p. 1–18, 2021. <https://doi.org/10.1590/00013765202120190726>.

MATAVELI, G; SILVA, M; PEREIRA, G; DA SILVA CARDOZO, F; SHINJI KAWAKUBO, F; BERTANI, G; CEZAR COSTA, J; DE CÁSSIA RAMOS, R; DA SILVA, V. Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 125–144, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-125-2018>.

MENEZES VASCONCELOS, F; BASTOS MOTA, F; NOBRE RABELO, N; DANTAS CAVALCANTE R; DE MIRANDA MENESCAL, L. **Gestão e legislação ambiental das unidades de conservação inseridas no município de Fortaleza/CE**. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL 2019, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza p. 1–6. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/VI-051.pdf>>.

MOHAMMED, O; VAFAEI, S; KURDALIVAND, M; RASOOLI, S; YAO, C; HU, T. A comparative study of forest fire mapping using gis-based data mining approaches in western Iran. **Sustainability**, v. 14, n. 20, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142013625>.
MORELLI, F; SETZER, A; CRISTINA, S. Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do pantanal, 2000-2008. **Geografia**, v. 34, p. 681–695, 2009.

PARRA-LARA, Á; BERNAL-TORO, F. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. **El Hombre y la Máquina**, n. 35, p. 67–81, 2010.

PASQUINI, B. **Plano de manejo do Parque Estadual do Cocó. Fortaleza**, 2020. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2021/03/PMPC_01.pdf>.

PEREA-ARDILA, M; MUÑOZ, S. **Caracterização de uma nova queimada utilizando sensoriamento remoto do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza/CE, Brasil**. SciELO Preprints, 2024. Disponível em: <<https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/9123/17050>>.

PEREA-ARDILA, M; MUÑOZ, S; SOPCHAKI, C. Análise de áreas queimadas utilizando imagens Sentinel-2 no Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 4, n. 3, p. 67–83, 2023. <https://zenodo.org/records/10440566>

PEREIRA, C; FIEDLER, N; DE MEDEIROS, M. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do cerrado. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 95–100, 2004. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.036>

PINTO, D.; SPLETOZER, A.; BARBOSA, S.; LIMA, G.; TORRES, C.; TORRES, F. Periods of highest occurrence of forest fires in Brazil. **Floresta**, v. 51, n. 2, p. 484–491, 2021.

<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v51i2.70286>

SANTORO, M.; CARTUS, O. **ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017, 2018, 2019 and 2020, v4.** Centre for Environmental Data Analysis, 2023. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.5285/af60720c1e404a9e9d2c145d2b2ead4e>>.

Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMA. Unidades de Conservação (UCs) – Acervo. 2023. Disponível em: <<https://www.sema.ce.gov.br/unidades-de-conservacao-2/>>.

SOUSA, É.; SANTOS, F. O processo de implantação do Parque Estadual do Cocó, Fortaleza (CE): conflitos e perspectivas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 781–790, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10526>

SYPHARD, A.; KEELEY, J. Location, timing and extent of wildfire vary by cause of ignition. **International Journal of Wildland Fire**, v. 24, n. 1, p. 1-11, 2015. <http://dx.doi.org/10.1071/WF14024>

SYPHARD, A.; RADELOFF, V.; KEELEY, J.; HAWBAKER, T.; CLAYTON, M.; STEWART, S.; HAMMER, R. Human influence on California fire regimes. **Ecological Applications**, v. 17, n. 5, p. 1388–1402, 2007. <https://doi.org/10.1890/06-1128.1>

SZPAKOWSKI, D; JENSEN, J. A review of the applications of remote sensing in fire ecology. **Remote Sensing**, v. 11, n. 22, p. 1–31, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11222638>

AGRADECIMENTOS

O autor principal agradece à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela bolsa concedida no âmbito do doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará e da chamada para a Primeira Edição do Programa de Mobilidade Internacional GCUB 001/2022.