

Mapeamento de risco de incêndios florestais: uma aplicação para a região da Operação Fumaça Zero no estado do Rio de Janeiro

Mudanças Climáticas

Leonardo Menezes Kaner¹

Yuri Guedes Maia²

Mateus Ribeiro Rodriguez³

Pedro Ferreira Chagas Araújo⁴

Jade Golzio Barqueta Donnini⁵

Fernanda Araújo Menezes⁶

Resumo

Os incêndios florestais estão entre os eventos que tendem a se tornar mais frequentes e mais intensos devido às mudanças climáticas. Neste cenário, a devida gestão territorial para a prevenção e combate destes eventos, requer o conhecimento dos riscos existentes, em específico, da interação do fogo com os fatores meteorológicos e as características da paisagem. Os mapas de risco que consideram esta influência, elaborados através de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, vêm se mostrando como uma importante ferramenta para o planejamento da prevenção e controle de incêndios florestais. Nos últimos anos, constatou-se um aumento de áreas queimadas no estado do Rio de Janeiro, justificando a criação do projeto Operação Fumaça Zero para oferecer suporte à gestão territorial contra as queimadas e práticas ambientais ilegais. Neste contexto, objetiva-se com esse trabalho a apresentação de um mapa de risco de incêndios florestais da região de atuação da Operação Fumaça Zero, elaborado a fim de favorecê-los na gestão territorial. A metodologia consistiu na combinação do mapa de potencialidade, elaborado a partir de dados de focos de calor, com o mapa de suscetibilidade, elaborado a partir de variáveis de combustibilidade, radiação, curvatura das encostas e pluviosidade, através da Calculadora Raster, do programa QGIS. Os mapas gerados indicaram a parte norte e outras regiões específicas da região de atuação do projeto, como áreas de maior risco de ocorrência de incêndios florestais, contribuindo no direcionamento de ações operacionais.

Palavras-chave: Incêndios; Gestão territorial; Geoprocessamento; Suscetibilidade; Potencialidade.

¹Consultor ambiental – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro - CEPERJ, leomkaner@gmail.com.

²Gerente e coordenador – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro - CEPERJ, yuri.maia@ceperj.rj.gov.br.

³Consultor de geoprocessamento e sensoriamento remoto – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro - CEPERJ, mribeirogeo@gmail.com.

⁴Consultor de geoprocessamento e sensoriamento remoto – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro – CEPERJ, pftchagas@gmail.com.

⁵Consultora ambiental – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro - CEPERJ, jadegolzio@gmail.com.

⁶Consultora ambiental – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro - CEPERJ, fefemenezes93@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais estão entre os desastres ambientais que afetam e transformam, significativamente, o meio ambiente. Os impactos provenientes são diversos, comprometendo o meio físico, biótico e socioeconômico da região onde ocorrem (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

Entre os impactos, estão as emissões de gases efeito estufa para atmosfera, que são potenciais agravantes para o aquecimento global e para as mudanças climáticas. Por outro lado, as mudanças climáticas também exercem influência na ocorrência de incêndios florestais, uma vez que o desenvolvimento destes eventos se relaciona com fatores meteorológicos e climáticos.

Segundo Motta (2008), longos períodos de estiagem, baixa umidade relativa do ar, temperaturas elevadas, ventos fortes, vegetação ressecada, bem como o uso do fogo em diversas atividades, podem provocar queimadas que, quando fogem do controle, resultam em grandes áreas incendiadas. Além destes, outros fatores também influenciam no comportamento do fogo, como a topografia e o material combustível da vegetação existente.

Nestas condições, a devida gestão territorial para a prevenção e controle de incêndios florestais requer o conhecimento das ameaças e vulnerabilidades existentes, uma vez que as mudanças climáticas tendem a tornar estes eventos mais frequentes e mais intensos.

A elaboração de mapas de risco por meio de técnicas de geoprocessamento, que consideram os fatores de influência na ocorrência de incêndios, vêm se mostrando como uma apropriada e oportuna ferramenta de planejamento neste cenário. Através da mineração de dados e do sensoriamento remoto, é possível obter informações espaço-temporais que permitem a caracterização da paisagem e o estudo de fenômenos climáticos, como os incêndios florestais. A sobreposição de mapas temáticos que tratam as variáveis de influência é uma dessas técnicas (BATISTA, 2000).

Realização



Apoio



No estado do Rio de Janeiro, constatou-se um grande aumento de áreas queimadas no ano de 2019 abrangendo áreas com alta densidade de árvores, bem como áreas de unidades de conservação (FUNDAÇÃO CEPERJ, 2020). Por essa justificativa, em maio de 2020 culminou-se a criação de um projeto denominado Operação Fumaça Zero, pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), objetivando oferecer suporte à gestão territorial contra as queimadas, práticas ambientais ilegais e a favor da prevenção e controle de incêndios florestais na região de atuação do projeto.

Neste contexto, objetiva-se com esse trabalho a apresentação de um mapa de risco de incêndios florestais da região de atuação da Operação Fumaça Zero (OFZ), elaborado por meio de técnicas de geoprocessamento, a fim de identificar e indicar locais de risco de ocorrência para favorecê-los na gestão territorial, bem como contribuir na disseminação de estudos relacionados a redução de risco de desastres pelas mudanças climáticas.

METODOLOGIA

A região de atuação da OFZ abrange municípios da região Serrana e de partes das regiões Centro-Sul e Metropolitana do estado do Rio de Janeiro, sendo eles: Teresópolis, Petrópolis, Carmo, Sapucaia, São José do Vale do Rio Preto, Areal, Três Rios, Guapimirim, Sumidouro, Nova Friburgo, Duas Barras, Santa Maria Madalena, Cordeiro, Cantagalo, Cachoeiras de Macacu, Bom Jardim, Macuco, São Sebastião do Alto e Trajano de Moraes, totalizando 19 municípios e representando, aproximadamente, 20% do estado, conforme apresenta a Figura 01.

Realização



Apoio





Figura 01: Região de atuação da Operação Fumaça Zero.

O mapeamento do risco de incêndios florestais deste trabalho considerou a metodologia proposta por Sousa, Coura e Fernandes (2010), que procedeu o mapeamento da potencialidade à ocorrência de incêndios florestais, a partir da concomitância de fatores ambientais e antrópicos. Segundo os autores, os fatores ambientais correspondem à ação da paisagem, caracterizando a suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais, enquanto os fatores antrópicos, correspondem ao risco.

No presente trabalho, a potencialidade foi considerada como fator antrópico, para ser combinada com a suscetibilidade e gerar o risco de ocorrência de incêndios florestais. A potencialidade foi definida pela variável de concentração de focos de calor na região, representando o fator antrópico, enquanto a suscetibilidade foi definida através da combinação das variáveis de radiação solar, curvatura das encostas, combustibilidade e pluviosidade da região. Os procedimentos de construção, edição e combinação dos mapas foram realizados como uso do programa QGIS.

A primeira etapa consistiu na obtenção de dados espaciais dos fatores de influência na ocorrência de incêndios florestais, em formatos matricial (*pixel*) e vetorial,

para a elaboração dos mapas temáticos da região de estudo, conforme apresenta o Quadro 01.

Quadro 01: Relação de dados obtidos para o mapeamento

Dado espacial	Formato	Resolução	Fonte
Uso e Cobertura do solo	Matricial	30 metros	Mapbiomas, coleção 6.0
Precipitação	Matricial	1 quilômetro	CHELSA
Radiação	Matricial	10 metros	Modelo Digital de Elevação (IBGE)
Curvatura das encostas	Matricial	10 metros	Modelo Digital de Elevação (IBGE)
Focos de calor	Vetorial	375 metros	BDQueimadas (INPE)

Todos os dados foram reamostrados para a resolução de 10 metros e manuseados em paralelo às bases cartográficas provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com a condução do estudo na escala 1:25.000.

A segunda etapa consistiu na classificação das variáveis de influência. De maneira a possibilitar a álgebra de mapas com a combinação dos indicadores, foram definidas classes de influência de deflagração de incêndios para cada variável, com base na literatura.

Primeiramente, a combustibilidade da vegetação considerou a classificação exercida por Sousa, Coura e Fernandes (2010), dividida em seis classes, conforme apresenta o Quadro 02.

Realização

Apoio

Quadro 02: Classes de uso e cobertura do solo de acordo com sua combustibilidade

Classificação de combustibilidade	Uso e Cobertura do solo (Mapbiomas, coleção 6.0)
Muito alta	Pastagem
Alta	Formação savânica; Outras formações não florestais
Média	Silvicultura; Restinga arborizada; Mosaico de agricultura e pastagem
Baixa	Formação florestal; Apicum
Muito baixa	Mangue; campo alagado e área pantanosa
Área não vegetada	Afloramento rochoso; Mineração; Área urbanizada; Outras áreas não vegetadas; Rio, lago e oceano.

Com relação a variável curvatura das encostas, as classes foram divididas em côncavo, plano e convexo, e classificadas conforme a característica de dispersão e acúmulo de fluxos, em que a concentração de umidade é maior em áreas de convergência de fluxos (côncavas) e menor em áreas de divergência de fluxos (convexas), estas apresentando maior risco de incêndios (FERNANDES *et al.*, 2011).

A variável obtida pelo mapa de radiação solar é o total de radiação direta e difusa, sendo os valores de radiação classificados em alta, média e baixa, de acordo com a quebra natural dos valores do histograma de frequência (COURA; SOUSA; FERNANDES, 2009). Da mesma maneira, foi classificada a pluviosidade, considerando dados de precipitação provenientes da série histórica de 34 anos, disponibilizada no banco de dados do CHELSA. Os valores de precipitação utilizados são referentes a estação inverno, período de maior registro de focos de calor e de atuação da OFZ.

Finalmente, a classificação para a concentração de focos de calor utiliza a ferramenta “Estimativa de densidade de Kernel”, do programa QGIS. Essa ferramenta estatística funciona desenhando uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência, e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança. O valor para a célula é a soma

Realização

Apoio

dos valores Kernel sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN, 1986 *apud* SOUZA *et al.*, 2013). Desta forma, os locais com maiores concentrações de focos de calor foram classificados com peso alto. A definição das classes de suscetibilidade e potencialidade para cada variável é ilustrado pela Figura 02.

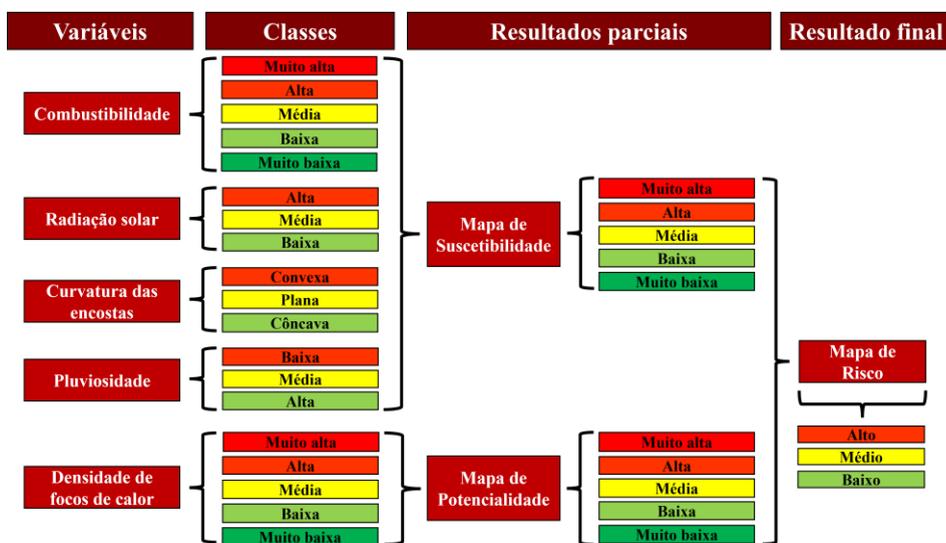


Figura 02: Classificação dos mapas temáticos e resultantes.

A combinação dos mapas e de suas respectivas classes foi realizada através da ferramenta “Calculadora Raster” do QGIS. Para determinação da suscetibilidade foram atribuídas notas a cada uma das variáveis relacionadas, conforme o peso de influência na ocorrência de incêndios. As notas foram geradas com base na metodologia de análise multicritérios, seguindo orientações do método de Processo de Análise Hierárquica – AHP (SAATY, 1977). O método consiste em determinar os critérios e seus pesos a partir das preferências dos decisores, convertendo-os em valores numéricos para construir um modelo de tomada de decisão.

Neste sentido, as variáveis foram comparadas de acordo com seu nível de importância, sendo atribuídas notas ímpares de 1 a 9, variando, respectivamente, de “igual importância” a “importância absoluta”. A Tabela 01 apresenta o valor atribuído a cada variável pelos decisores.

Tabela 01: Notas atribuídas a cada variável

Variável	Combustibilidade	Precipitação	Radiação	Curvatura
Combustibilidade	1	3	5	5
Precipitação	0,33	1	4	4
Radiação	0,2	0,25	1	4
Curvatura	0,2	0,25	0,25	1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após todos os processamentos e procedimentos adotados, obteve-se como resultados principais os mapas de suscetibilidade, potencialidade e de risco da região de atuação da OFZ.

O mapa de suscetibilidade (Figura 03), resultante da álgebra de mapas de radiação, curvatura das encostas, combustibilidade e pluviosidade, ilustra a resposta da paisagem em relação ao fogo.

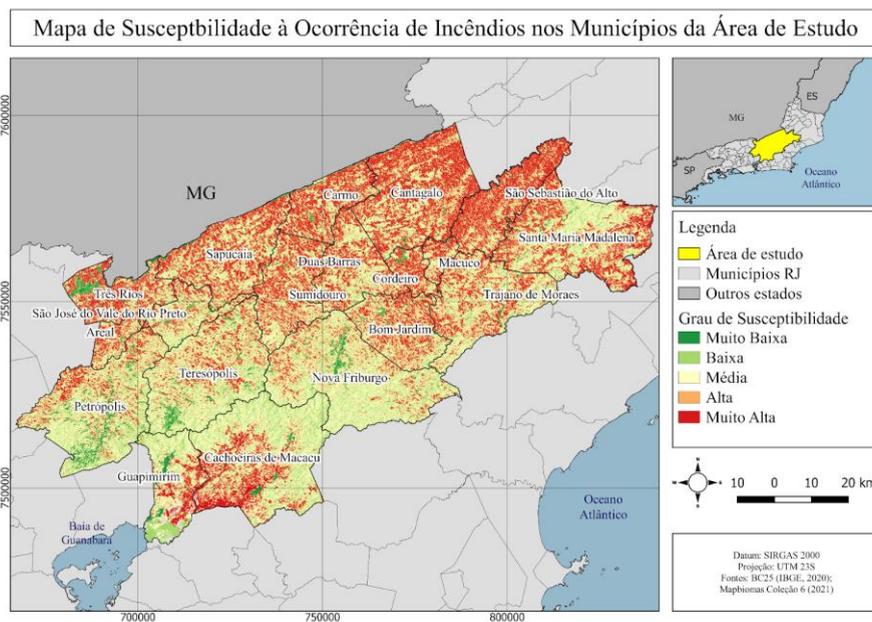


Figura 03: Mapa de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais.

É possível perceber que a maior abrangência de áreas de suscetibilidade alta se encontra de norte a nordeste da região de estudo, destacando os municípios de Cantagalo, São Sebastião do Alto, Cordeiro e Carmo. Com relação a valores mais elevados, destacam-se porções dos municípios de Guapimirim e Cachoeiras de Macacu, devido a predominância de pastagem, classificada como alta combustibilidade. Os valores mais baixos correspondem a porções dos municípios Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, proveniente de vegetação menos combustível e maior pluviosidade.

O mapa de potencialidade (Figura 04), apresenta a concentração de focos de calor, elaborada por meio da ferramenta “Estimativa de densidade de Kernel” no QGIS, a partir da série histórica de focos de 2010 a 2020 da região de estudo. Os dados foram originados pelo satélite AQUA, que tem passagem durante a tarde e é usado como referência para as análises do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

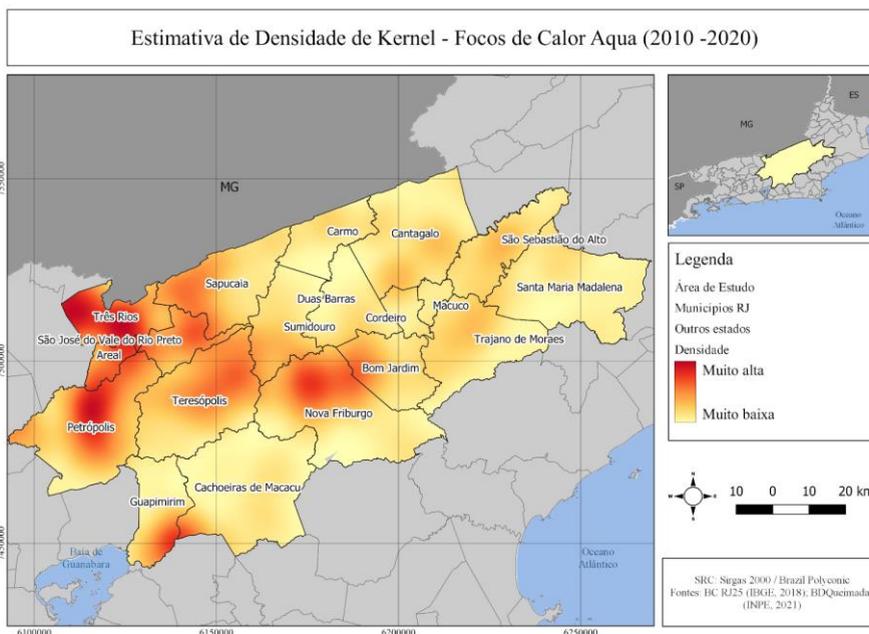


Figura 04: Mapa de potencialidade à ocorrência de incêndios florestais.

Os registros foram utilizados para estimar a densidade de presença de focos, nos quais foram estabelecidos raios de 10 quilômetros a partir de cada foco. As manchas de

densidade “muito alta”, representam uma propensão de concentração que tende a 78 focos em uma área de 10 quilômetros, enquanto as de densidade “muito baixa”, representam uma maior dispersão de focos, tendendo a 0.

A partir desses estudos, é possível ter uma noção sobre o comportamento do padrão do fogo na região, apresentando uma concentração maior nos municípios da porção oeste da área (Três Rios, Areal, Petrópolis, Teresópolis), além de uma mancha na região central (Nova Friburgo e Bom Jardim) e ao sul de Guapimirim.

O resultado da equação do risco corresponde à combinação dos mapas anteriores, representando o mapa de risco de incêndios florestais, apresentado pela Figura 05.

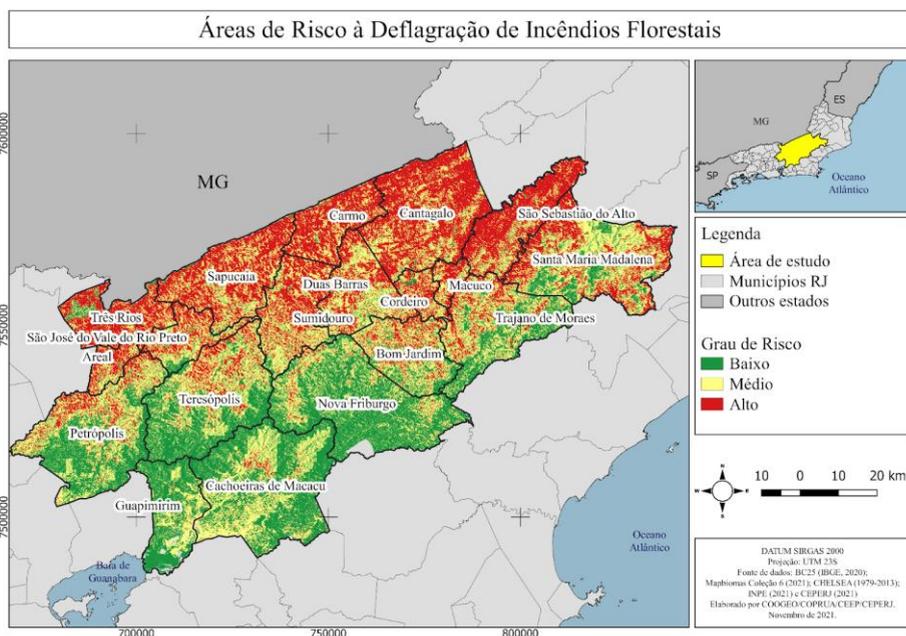


Figura 05: Mapa de risco de incêndios florestais.

Observa-se um resultado parecido com o mapa de susceptibilidade. Contudo, a consideração de áreas de maiores registros de focos de calor destacou categoricamente o oeste da região de estudo, principalmente, os municípios de Três Rios, Sapucaia, São José do Vale do Rio Preto e Areal, além de outras regiões específicas de outros municípios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação de dados de sensoriamento remoto, através de técnicas de geoprocessamento, possibilita a geração de indicadores, que são úteis para o direcionamento de ações operacionais na prevenção de incêndios florestais. A classificação e hierarquização de variáveis de influência, permitem a identificação de locais mais suscetíveis ao fogo, enquanto a espacialização de focos de calor permite a verificação do diagnóstico de comportamento do fogo na região, de maneira a representar a potencialidade de ocorrências.

A combinação destes fatores, representados pelo mapa de risco deste trabalho, atingiu ao objetivo de identificar os locais mais propensos a ocorrência de incêndios, servindo como ferramenta de gestão territorial para os atuantes da Operação Fumaça Zero. Um dos relatos obtidos dos atuantes do projeto foi a percepção de regiões de risco que não recebiam tanta atenção, como o município de Três Rios e outros da parte oeste da região de estudo.

Espera-se que o presente trabalho fomente estudos relacionados ao mapeamento de riscos de incêndios florestais, considerando adaptações metodológicas, para ser utilizado como uma das alternativas de prevenção e adaptação às mudanças climáticas. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a análise de consistência da hierarquização das variáveis de suscetibilidade, para validação e adaptação do método.

AGRADECIMENTOS

Presidente Gabriel Lopes – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro – CEPERJ.

REFERÊNCIAS

Realização



Apoio



BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 30, n. 1/2, p. 45-54, 2000.

CHELSEA. **Daily climate data at 1km resolution**. Disponível em: <https://chelsea-climate.org/daily-precipitation/>. Acesso em: 04 nov. 2021.

COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C. Mapeamento geocológico da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no maciço da Pedra Branca. **Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 14-25, 2009.

FERNANDES, M. C. *et al.* Avaliação Geocológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011.

FUNDAÇÃO CEPERJ. **Aspectos da Qualidade de Vida**. Rio de Janeiro, RJ, 2020. 118 p. Disponível em: <https://www.ceperj.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/Aspectos-da-Qualidade-de-Vida-2020.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

GUIMARÃES, P. P. *et al.* Análise dos Impactos Ambientais de um Incêndio Florestal. **Agrarian Academy**, Goiânia, GO v.1, n. 1, p. 38-60, 2014.

IBGE. **Bases Cartográficas Contínuas**. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/. Acesso em: 04 nov. 2021.

INPE. **BDQueimadas**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 07 set. 2021.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil | Coleção 6.0**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 09 ago. 2021.

MOTTA, D. S. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais**. 2008. 32 p. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

SAATY, T. L. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. **Journal Of Mathematical Psychology**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 234-281, jun. 1977.

SOUSA, G. M.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C. Cartografia geocológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: Uma proposta metodológica. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 62, p. 277-289, jul. 2010.

SOUZA, N. P. *et al.* Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 abr. 2013.

Realização

Apoio