

Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) no Estado do Acre

Carlos Alberto Beretta de Lima¹

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal: 515 - Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja - CEP: 12227-010

carlos.lima@inpe.br

Abstract. *This study developed a Firefighting Demand Index (IDCI) for Acre, Brazil, by integrating environmental and operational variables in a 10 km × 10 km grid. Fire risk, burned area, vegetation fire occurrences, firefighting effort, and brigade locations were normalized and weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results showed a predominance of medium-low and low classes, while high and very high classes occurred only in specific areas. The IDCI highlights the potential of geospatial data integration to support territorial planning and fire response actions in Acre.*

Resumo. *Este estudo desenvolveu um Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) para o Acre, integrando variáveis ambientais e operacionais em uma grade de 10 km × 10 km. Dados de risco de fogo, área queimada, ocorrências, esforço de combate e localização de brigadas foram normalizados e ponderados pelo método AHP. Os resultados mostraram predominância das classes médio-baixo e baixo, enquanto as classes alto e muito alto ocorreram de forma pontual. O IDCI evidencia o potencial da integração de dados geoespaciais para apoiar o planejamento territorial e as ações de combate a incêndios no Acre.*

1. Introdução

A paisagem amazônica pode ser compreendida como um sistema complexo, moldado ao longo do tempo pela interação entre fatores naturais, dinâmicas socioeconômicas e formas de uso e cobertura da terra. Nas últimas décadas, a intensificação de atividades antrópicas, como a expansão agropecuária, a abertura de áreas, o desmatamento e o uso recorrente do fogo, tem contribuído para alterações significativas nos ecossistemas florestais amazônicos [Aragão et al. 2018]. Nesse contexto, os incêndios florestais e as queimadas representam importantes vetores de transformação da paisagem. O fogo é frequentemente utilizado como instrumento de manejo para limpeza de áreas, renovação de pastagens e preparo do solo, porém pode se espalhar para além dos limites inicialmente previstos, atingindo áreas de vegetação nativa, propriedades rurais, infraestruturas e comunidades locais [Cochrane 2009; Silveira et al. 2020]. Assim, além dos impactos ambientais, como perda de biodiversidade, emissão de gases de efeito estufa e degradação da vegetação, os eventos de fogo também geram demandas operacionais relacionadas à prevenção, monitoramento e combate.

No estado do Acre, localizado na Amazônia Ocidental, a ocorrência de queimadas apresenta forte sazonalidade, com maior concentração no segundo semestre do ano, período associado à redução das chuvas e ao aumento das condições favoráveis à propagação do fogo [Alencar et al. 2024]. Essa dinâmica reforça a importância de compreender não apenas onde o fogo ocorre, mas também onde a demanda por ações de combate tende a ser mais elevada. Essa demanda pode estar associada à combinação de diferentes fatores, como registros de ocorrência, esforço de combate empregado, localização das brigadas, risco de fogo e extensão de áreas queimadas.

A geoinformática permite integrar essas informações em uma base espacial comum, possibilitando a construção de indicadores para apoiar a análise territorial. Nesse sentido, o uso de grades regulares como unidade de análise favorece a comparação espacial entre variáveis de diferentes naturezas, enquanto métodos de análise multicritério, como o Analytic Hierarchy Process (AHP), permitem atribuir pesos relativos aos critérios considerados no modelo [Saaty 1980]. Dado o exposto, torna-se necessário desenvolver abordagens capazes de representar espacialmente a demanda potencial de combate a incêndios no Acre. Assim, o objetivo deste trabalho é elaborar um Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) para o estado do Acre, integrando variáveis ambientais e operacionais em uma grade regular de 10 km × 10 km, com apoio de técnicas de geoprocessamento e análise multicritério.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Acre, localizado na Amazônia Ocidental brasileira. O estado possui área aproximada de 164.123 km². Este trabalho adotou como recorte temporal o segundo semestre de 2024, período de maior relevância para a análise da demanda de combate a incêndios no estado.

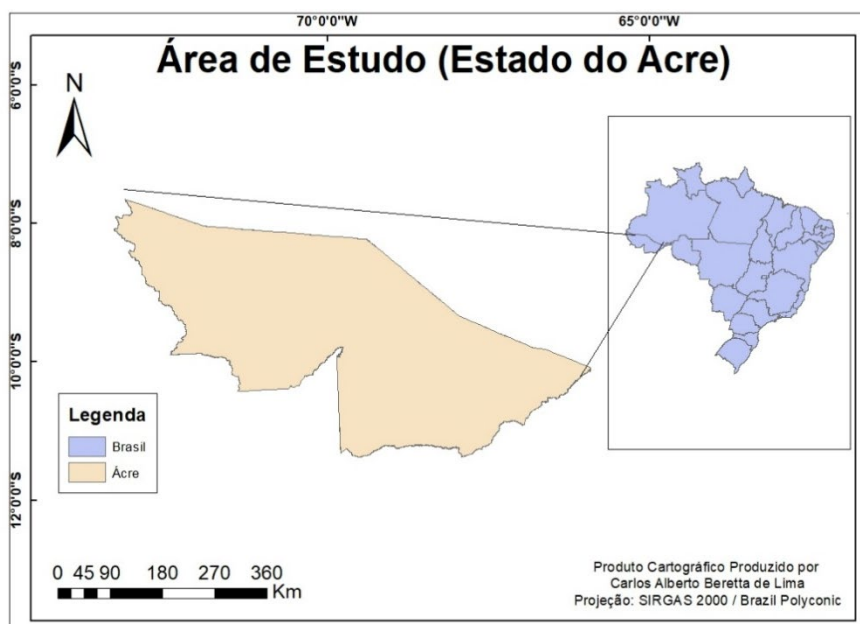


Figura 1. Localização da área de estudo, correspondente ao estado do Acre, Brasil.

2.2. Base de Dados

Para a elaboração do Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI), foram utilizadas bases ambientais e operacionais relacionadas à ocorrência e ao combate ao fogo.

Tabela 1. Base de dados.

| Fonte de dados | Ano | Tipo de dado | Descrição |
|-------------------------------------|------|----------------------|---|
| Programa Queimadas (INPE) | 2024 | Matricial | Raster mensal de risco de incêndio |
| LabGAMA (UFAC) | 2024 | Vetorial | Área queimada |
| Dados do Corpo de Bombeiros do Acre | 2024 | Tabulares e Vetorial | Registros de ocorrências e Quantidade de pessoas por operação |
| Brigadas do Acre | 2024 | Vetorial | Localização das bases operacionais |
| IBGE | 2022 | Vetorial | Limites administrativos |

O risco de fogo foi obtido a partir do produto disponibilizado pelo Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo utilizado o valor médio correspondente ao segundo semestre de 2024. A área queimada foi obtida a partir da base disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente (LabGAMA) da Universidade Federal do Acre (UFAC), referente ao estado do Acre em 2024. Os registros de ocorrência e as informações de esforço de combate foram obtidos a partir de dados operacionais do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Acre diretamente com o Comandante Freitas. A localização das brigadas foi utilizada para representar a proximidade operacional em relação às bases de resposta e foi obtida a partir de uma base de dados do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Acre. Também foi utilizado o limite estadual do Acre para recorte e organização da área de análise obtido pelo IBGE.

2.3. Métodos

Nessa seção serão apresentados os procedimentos realizados neste trabalho. Os procedimentos estão ilustrados na Figura 2.

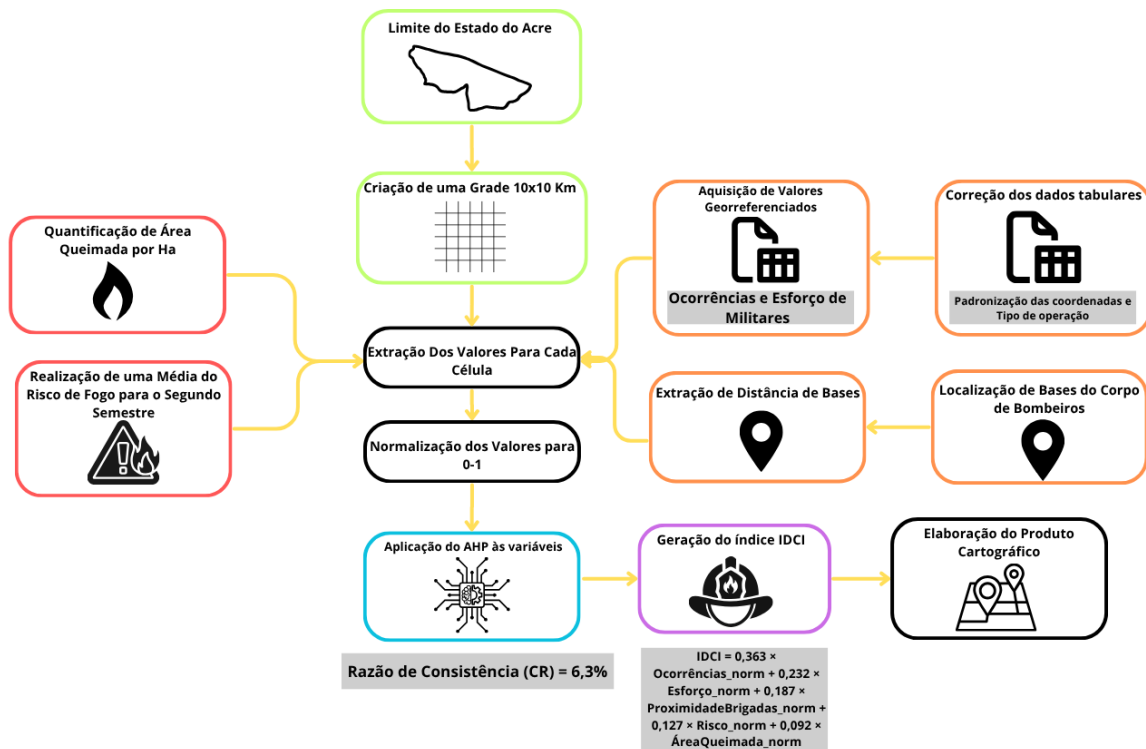


Figura 2. Fluxograma metodológico das etapas utilizadas para elaboração do Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI).

2.3.1. Unidade espacial de análise

A unidade espacial adotada foi uma grade regular de 10 km × 10 km, criada sobre o limite do estado do Acre. Essa escolha permitiu padronizar a comparação entre variáveis de diferentes naturezas, como dados pontuais, vetoriais e matriciais. Após a criação da grade, as células foram recortadas pelo limite estadual, de modo que apenas as áreas pertencentes ao Acre fossem consideradas no cálculo do índice. A utilização da grade regular possibilitou que todas as variáveis fossem agregadas em uma mesma unidade espacial, permitindo comparar as diferentes porções do território estadual a partir dos mesmos critérios.

2.3.2. Processamento das variáveis

As variáveis utilizadas no Índice de Demanda de Combate a Incêndios foram calculadas individualmente para cada célula da grade. Para as ocorrências de incêndio em vegetação, foi contabilizado o número de registros presentes em cada célula. O esforço de combate foi representado pela soma dos militares empregados nas ocorrências associadas a cada célula da grade. Para a variável relacionada às brigadas, inicialmente foi calculada a distância entre cada célula e a brigada mais próxima. Em seguida, essa distância foi convertida em uma variável de proximidade, de forma que valores mais altos representassem maior proximidade às bases de resposta. Essa transformação foi adotada porque, no contexto do Índice de Demanda de Combate a Incêndios, a proximidade às brigadas representa maior potencial de atendimento operacional, enquanto áreas muito distantes não deveriam receber valores elevados apenas por estarem isoladas. A área

queimada foi quantificada em hectares para cada célula da grade, a partir da interseção entre a base de área queimada e a grade regular. O risco de fogo foi calculado por estatística zonal, considerando o valor médio dos pixels do produto de risco de fogo dentro de cada célula.

2.3.3. Normalização das variáveis

Como as variáveis utilizadas possuem diferentes unidades e escalas, todos os valores foram normalizados para uma escala comum entre 0 e 1. Foi utilizada a normalização Min-Max, conforme a equação:

$$X_{norm} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

em que X_{norm} representa o valor normalizado da variável, X corresponde ao valor original da célula, X_{min} é o menor valor observado e X_{max} é o maior valor observado para a variável analisada. Esse procedimento permitiu comparar e integrar variáveis com unidades distintas, como número de ocorrências, área queimada, risco médio de fogo e proximidade às brigadas.

2.3.4. Aplicação do método AHP

Para definir os pesos das variáveis utilizadas na composição do Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI), foi utilizado o método Analytic Hierarchy Process (AHP), proposto por Saaty (1980). O método permite comparar os critérios de forma pareada, atribuindo pesos relativos conforme sua importância para o objetivo da análise.

Neste trabalho, o AHP foi aplicado conjuntamente às cinco variáveis consideradas no índice: ocorrências de incêndio em vegetação, esforço de combate, proximidade às brigadas, risco de fogo e área queimada. Essa abordagem permitiu que todos os critérios fossem comparados dentro de uma mesma estrutura de decisão, evitando a atribuição isolada de pesos por grupos de variáveis.

A matriz de comparação pareada indicou maior peso para as ocorrências de incêndio, seguidas pelo esforço de combate e pela proximidade às brigadas, por representarem diretamente aspectos associados à demanda operacional. As variáveis risco de fogo e área queimada também foram incorporadas ao modelo, representando a dimensão ambiental e territorial associada à possibilidade de ocorrência e propagação do fogo.

A Razão de Consistência (CR) obtida foi de 6,3%, valor inferior ao limite de 10% geralmente adotado como aceitável no método AHP. Dessa forma, os julgamentos utilizados na matriz de comparação foram considerados consistentes para a definição dos pesos do IDCI.

2.3.5. Cálculo do IDCI

Após a normalização das variáveis entre 0 e 1 e a definição dos pesos pelo método AHP, o Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) foi calculado por meio de uma combinação linear ponderada das cinco variáveis utilizadas no estudo.

A equação final do índice foi definida como:

$$\begin{aligned} IDCI &= 0,363 \times Ocorrências_norm + 0,232 \times Esforço_norm \\ &+ 0,187 \times ProximidadeBrigadas_norm + 0,127 \times Risco_norm \\ &+ 0,092 \times ÁreaQueimada_norm \end{aligned}$$

Após o cálculo do índice, os valores foram classificados em sete classes: muito baixo, baixo, médio-baixo, médio, médio-alto, alto e muito alto. Essa classificação foi utilizada para a elaboração do produto cartográfico final e para a interpretação espacial da demanda potencial de combate a incêndios no estado do Acre.

3. Resultados e Discussão

A aplicação do Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) permitiu representar espacialmente a demanda potencial de combate a incêndios no estado do Acre, a partir da integração entre variáveis ambientais e operacionais. O índice final foi obtido pela combinação ponderada das variáveis normalizadas de ocorrências, esforço de combate, proximidade às brigadas, risco de fogo e área queimada, utilizando os pesos definidos pelo método AHP.

A Figura 3 apresenta o mapa final do Índice de Demanda de Combate a Incêndios para o estado do Acre. Observa-se que os maiores valores do índice não se distribuem de forma homogênea pelo território, ocorrendo de maneira mais concentrada em algumas porções do estado, principalmente nos espaços mais habitados. As classes mais elevadas indicam áreas onde há maior combinação entre registros de ocorrência, esforço empregado, proximidade operacional e condições ambientais favoráveis ao fogo. Dessa forma, o resultado não representa apenas a presença de área queimada ou de risco de fogo, mas a integração de diferentes fatores associados à demanda potencial de resposta.

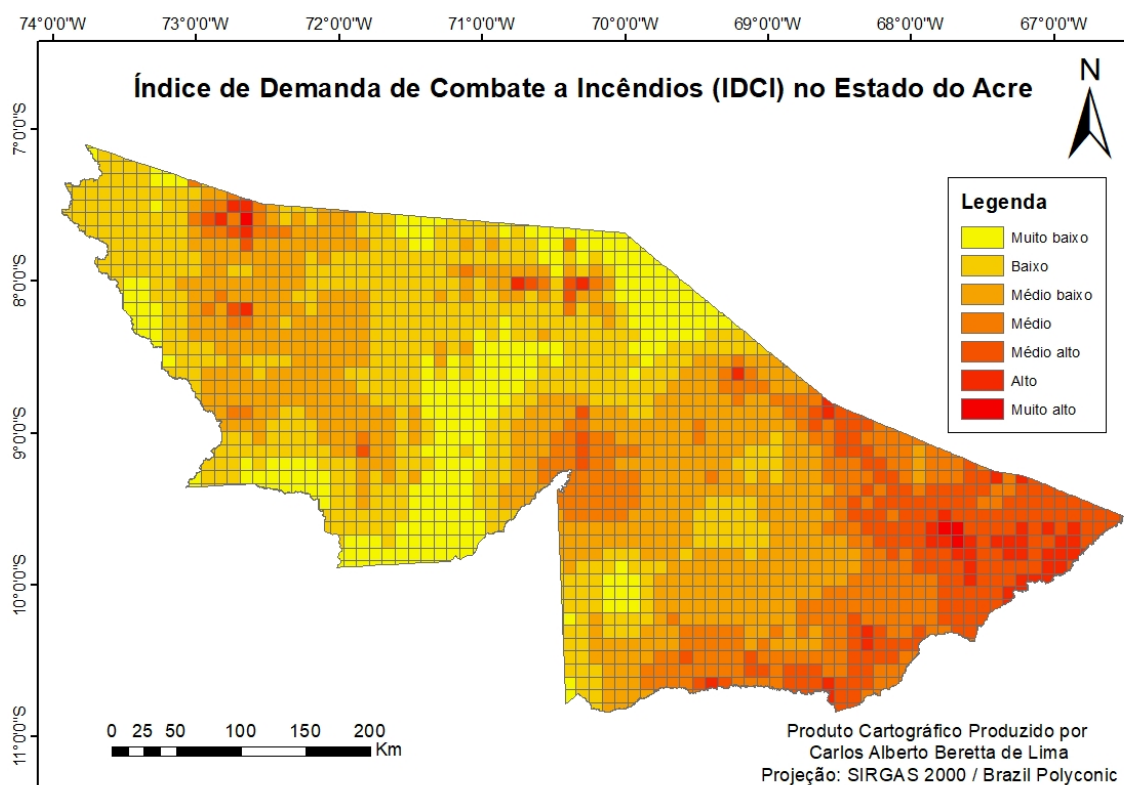


Figura 3. Índice de Demanda de Combate a Incêndios (IDCI) no estado do Acre.

De modo geral como demonstrado na figura 4, as classes mais baixas e intermediárias predominaram na grade analisada. A classe Médio-baixo apresentou a maior frequência, com 559 células, correspondendo a 30,10% da grade. Em seguida, destacou-se a classe Baixo, com 524 células, equivalente a 28,22%. A classe Muito baixo representou 14,70% das células, enquanto a classe Médio correspondeu a 14,16%. Já as classes de maior demanda potencial apresentaram menor participação espacial: Médio-alto representou 10,23%, Alto 2,42% e Muito alto apenas 0,16% das células analisadas.

Distribuição das células da grade por classe do IDCI

Número de células e percentual por classe

| Classe | Cor | Número de células | Percentual (%) |
|--------------|-----|-------------------|----------------|
| Muito baixo | | 273 | 14,70 |
| Baixo | | 524 | 28,22 |
| Médio-baixo | | 559 | 30,10 |
| Médio | | 263 | 14,16 |
| Médio-alto | | 190 | 10,23 |
| Alto | | 45 | 2,42 |
| Muito alto | | 3 | 0,16 |
| Total | | 1858 | 100,00 |

Figura 4. Distribuição das células da grade por classe do IDCI.

A predominância das classes Baixo e Médio-baixo indica que grande parte do território apresentou demanda potencial reduzida ou intermediária inferior segundo os critérios adotados no índice. Por outro lado, embora as classes Alto e Muito alto tenham ocupado pequena proporção da grade, sua ocorrência é relevante para a análise territorial, pois indica áreas onde múltiplos fatores de demanda se sobrepõem. Essas áreas podem ser interpretadas como pontos prioritários para atenção no planejamento de ações de prevenção, monitoramento e combate.

A distribuição espacial do Índice de Demanda de Combate a Incêndios também evidencia a importância de integrar variáveis operacionais ao estudo dos incêndios. Caso fossem considerados apenas dados ambientais, como risco de fogo ou área queimada, o produto final tenderia a representar somente a condição física ou histórica da queima. Com a inclusão de ocorrências, esforço de combate e proximidade às brigadas, o índice passa a incorporar elementos relacionados à resposta operacional, aproximando-se da ideia de demanda de combate.

Entretanto, os resultados devem ser interpretados como uma aproximação exploratória. A qualidade do índice depende diretamente da consistência dos registros operacionais, da precisão das coordenadas das ocorrências, da resolução da grade adotada e dos pesos atribuídos pelo AHP. Ainda assim, o Índice de Demanda de Combate a Incêndios mostrou potencial para sintetizar diferentes dimensões do problema e gerar um produto cartográfico útil para o diagnóstico espacial da demanda de combate a incêndios no Acre.

4. Conclusão

Dado o exposto, torna-se evidente que a integração de dados geoespaciais ambientais e operacionais pode contribuir para uma leitura mais abrangente da demanda de combate a incêndios no estado do Acre. A elaboração do IDCI permitiu organizar informações de diferentes naturezas em uma mesma unidade espacial, oferecendo um produto cartográfico capaz de apoiar a identificação de áreas que exigem maior atenção no planejamento das ações de enfrentamento ao fogo. A metodologia empregada demonstrou potencial para complementar análises baseadas exclusivamente em focos de calor, risco de fogo ou área queimada, uma vez que incorpora também elementos associados à resposta operacional. Dessa forma, o índice proposto é uma ferramenta de apoio ao diagnóstico territorial, útil para indicar padrões espaciais e orientar discussões sobre alocação de recursos, prevenção e organização das ações de combate. Ainda que o trabalho tenha alcançado o objetivo de construir um índice espacial de demanda de combate, algumas limitações devem ser consideradas. A qualidade dos registros operacionais, a resolução da grade adotada e a definição dos pesos por AHP influenciam diretamente o resultado final. Assim, trabalhos futuros podem avançar com a validação dos pesos junto a especialistas, a incorporação de variáveis como tempo de resposta, acessibilidade viária e disponibilidade de equipamentos, além da aplicação da metodologia em outros períodos e unidades federativas.

Por fim, os resultados reforçam o papel da geoinformática na construção de produtos voltados ao planejamento ambiental e operacional. Ao articular dados de monitoramento do fogo com informações de atendimento e combate, o IDCI apresenta-se como uma proposta inicial para subsidiar estratégias mais territorializadas de prevenção e resposta aos incêndios no Acre.

5. Referências

- Alencar, A., Martenexen, L. F., Gomes, J., Morton, D. and Brando, P. (2024) “Amazônia em chamas: entendendo a relação entre o fogo e desmatamento em 2023”, Nota Técnica Amazônia em Chamas, n. 12, IPAM, Brasília.
- Aragão, L. E. O. C. et al. (2018) “21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions”, *Nature Communications*, v. 9, p. 536.
- Chuvieco, E. et al. (2010) “Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies”, *Ecological Modelling*, v. 221, n. 1, p. 46-58.
- Cochrane, M. A. (2003) “Fire science for rainforests”, *Nature*, v. 421, p. 913-919.
- Guettouche, M. S., Derias, A., Boutiba, M., Bounif, M. A., Guendouz, M. and Boudella, A. (2011) “A fire risk modelling and spatialization by GIS: application on the forest of Bouzareah Clump, Algiers (Algeria)”, *Journal of Geographic Information System*, v. 3, p. 247-258.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2024) “Bases cartográficas contínuas do Brasil”, <https://www.ibge.gov.br/>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2024) “Programa Queimadas”, <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/>.
- Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York.
- Silveira, M. V. F. et al. (2020) “Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: lessons learned from the 2019 fire crisis”, *Land*, Basel, v. 9, n. 12, p. 516. DOI: 10.3390/land9120516.