



REVISTA
Casa da

ISSN 2316-8056

GEOGRAFIA
de Sobral

RISCO, VULNERABILIDADE E FOGO: UMA REVISÃO TEÓRICA E SUA APLICAÇÃO EM DIFERENTES CONTEXTOS

Risk, Vulnerability and Fire: a theoretical review and its application in different contexts

Riesgo, Vulnerabilidad e Incendio: una revisión teórica y su aplicación en diferentes contextos

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v27.1163>

Beatriz Bomfim Santos¹

Silvio Carlos Rodrigues²

Histórico do Artigo:

Recebido em 04 de agosto de 2025

Aceito em 25 de agosto de 2025

Publicado em 31 de agosto de 2025

RESUMO

O trabalho aborda a evolução e a complexidade do conceito de risco, explorando sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, com especial ênfase em sua relação com a vulnerabilidade e os incêndios florestais. A teoria do risco é examinada a partir de três conceitos-chave: perigo (a proximidade de um fator danoso), risco (a probabilidade de um evento) e crise (a materialização do dano). O estudo destaca a vulnerabilidade como um componente intrínseco do risco, sendo definida pela suscetibilidade de um sistema a ser afetado. A análise se aprofunda na dinâmica dos incêndios florestais, diferenciando o risco de perigo e explorando o fogo tanto como uma ameaça aos ecossistemas quanto como uma ferramenta de manejo ambiental. É apresentada a abordagem do Manejo Integrado do Fogo (MIF), que busca conciliar a prevenção de incêndios com o uso estratégico do fogo para a conservação e o manejo de paisagens. A avaliação da vulnerabilidade é discutida em sua perspectiva ampla, considerando a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa dos sistemas estudados. O trabalho, portanto, oferece uma revisão teórica abrangente e contextualiza a aplicação desses conceitos complexos para a compreensão e gestão de riscos em ambientes naturais.

Palavras-chave: Incêndios Florestais. Modelagem. Riscos. Vulnerabilidade.

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia no Instituto Geografia, Geociências e Saúde Coletiva da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Email: 99b.beatriz@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-1710-7866>

² Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Geografia no Instituto Geografia, Geociências e Saúde Coletiva da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Email: silgel@ufu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5376-1773>

ABSTRACT

This study addresses the evolution and complexity of the concept of risk, exploring its application in various fields of knowledge, with a special focus on its relationship with vulnerability and forest fires. The theory of risk is examined based on three key concepts: peril (the proximity of a potentially damaging factor), risk (the probability of an event), and crisis (the materialization of the damage). The study highlights vulnerability as an intrinsic component of risk, defined by a system's susceptibility to being affected. The analysis delves into the dynamics of forest fires, differentiating risk from peril and exploring fire both as a threat to ecosystems and as an environmental management tool. The Integrated Fire Management (IFM) approach is presented, which seeks to reconcile fire prevention with the strategic use of fire for the conservation and management of landscapes. The assessment of vulnerability is discussed from a broad perspective, considering the exposure, sensitivity, and adaptive capacity of the systems studied. The work, therefore, offers a comprehensive theoretical review and contextualizes the application of these complex concepts for the understanding and management of risks in natural environments.

Keywords: Forest Fires. Modeling. Risks. Vulnerability.

RESUMEN

Este artículo aborda la evolución y complejidad del concepto de riesgo, explorando su aplicación en diversos campos del conocimiento, con especial énfasis en su relación con la vulnerabilidad y los incendios forestales. Se examina la teoría del riesgo a partir de tres conceptos clave: peligro (la proximidad de un factor dañino), riesgo (la probabilidad de un evento) y crisis (la materialización del daño). El estudio destaca la vulnerabilidad como un componente intrínseco del riesgo, definido por la susceptibilidad de un sistema a verse afectado. El análisis profundiza en la dinámica de los incendios forestales, diferenciando riesgo de peligro y explorando el fuego como amenaza para los ecosistemas y como herramienta de gestión ambiental. Se presenta el enfoque de Gestión Integrada del Fuego (GIF), que busca conciliar la prevención de incendios con el uso estratégico del fuego para la conservación y la gestión del paisaje. La evaluación de la vulnerabilidad se discute desde una perspectiva amplia, considerando la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los sistemas estudiados. Por lo tanto, el trabajo ofrece una revisión teórica exhaustiva y contextualiza la aplicación de estos conceptos complejos para la comprensión y la gestión de riesgos en entornos naturales.

Palabras clave: Incendios forestales. Modelización. Riesgos. Vulnerabilidad.

INTRODUÇÃO

A noção de risco pode ser considerada um conhecimento empírico, inicialmente desenvolvido sem um suporte científico formal, podendo, inclusive, ser classificado como pré-científico (Rebelo, 2001). Sua complexidade conceitual permite sua aplicação em múltiplos campos do saber. Contudo, essa amplitude de abordagens contribui para a falta de clareza conceitual do termo (Rebelo, 1999).

A teoria de risco foi desenvolvida por diversos autores, como Faugères, 1990; Hadjiconstantinou, 1990; Moustafa, 1990. Rebelo, 1995, 1996, 1997b, 2014 (Lourenço e Almeida, 2018).

Em 1989, em Saint-Valery-sur-Somme, na França, durante o seminário "*Risques naturels, risques technologiques*". *Gestion des risques, gestion des crises*", Lucien Faugères fez o enquadramento de diversos conceitos, a partir dos quais foram lançados os fundamentos da teoria do risco (Lourenço e Dias, 2020). Os quais baseiam-se em três conceitos-chave: risco, perigo e crise. O perigo está associado à sensação de proximidade com um fator potencialmente danoso, enquanto a crise representa a concretização desse dano (Rebelo, 1999).

Essa teoria baseia-se na teoria da probabilidade, introduzida pelo físico francês Blaise Pascal (1623), mas em 1703, o matemático alemão Gottfried Leibniz a incorpora na teoria da relatividade da incerteza. Para

Leibniz, o mundo natural gera situações que emergem e evoluem em reação e eventos, de uma forma não previsível (Enkhtaivan et al., 2025a).

Georges-Yves Kervern e Patrick, no livro *L'Archipel du Danger*, criam a expressão Ciências Cindínicas, com objetivo de criar uma ciência, que estuda os riscos naturais, antrópicos e mistos (Lourenço e Amaro, 2018; Pechorro, 2013). Na obra "*L'Archipel du Danger*", risco é considerado como uma medida de perigo (Rebello, 1999). No que tange ao desenvolvimento do conceito, a UNESCO teve um papel fundamental ao patrocinar estudos sobre o tema, abordando-o desde o nível individual até o nível social (Rebello, 1999).

Seus primeiros registros relacionam-se com a associação de algo que é possível e/ou provável, a positividade e a negatividade (Spink, 2019). Entre o final do século XX e o século XXI, o risco passou a ser considerado, utilizado, calculado, incorporado e gerido por praticamente todas as disciplinas científicas e diversas organizações e finalidade (Lourenço e Almeida, 2018).

O conceito de risco ainda é amplamente debatido por diversos autores (Adams, 2009 *apud* Berwig e Engelmann, 2023). A terminologia é amplamente debatida, com a defesa de que os vocábulos possuem significados diferentes, alguns termos assumem um significado específico mas que, frequentemente, os técnicos não usam corretamente (Lourenço e Almeida, 2018). Como a definição de ameaça e risco, onde a ameaça é definida como algo que pode causar dano, enquanto o risco é o produto da probabilidade associada à ameaça (Berwig e Engelmann, 2023).

Para Lourenço e Amaro (2018), o risco envolve uma sequência temporal do risco à sua manifestação como crise, baseada na Teoria de Risco de Faugères (1990). O risco em Epidemiologia equivale a efeito, probabilidade de ocorrência em uma dada população, expresso pelo indicador paradigmático de incidência (Almeida-Filho e Coutinho, 2007). Yvette Veyret utiliza o conceito de que o risco está inserido na conjuntura da sociedade, a qual, ao mesmo tempo em que é causadora dos riscos, também é por eles afetada. A autora apresenta essa abordagem por meio de diferentes ângulos em seu livro "*Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente*".

Segundo Zanirato (2007), a noção de risco é apresentada como uma percepção construída por um indivíduo ou grupo social, que a internaliza por meio de representações mentais e passa a conviver com ela por meio de práticas específicas. Por isso, para Veyret, a percepção do perigo é historicamente determinada.

Como apresentado, devido a sua complexidade, o conceito de risco ainda é debatido e frequentemente associado a diferentes interpretações. Diferentes organizações, cientistas e outros têm experimentado e utilizado um conjunto de abordagens e técnicas diferentes para tentar medir ou abranger os grupos vulneráveis (Aquino et al., 2017).

Muitas produções bibliográficas utilizam o termo risco associado ao meio natural e a fenômenos físicos, especialmente em estudos sobre potencial, fragilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos

(Souza e Lourenço, 2015). O sociólogo alemão Ulrich Beck, em 1986, publicou sua obra *Sociedade do Risco*, na qual o conceito de risco se relaciona diretamente com o de globalização: os riscos são democráticos, afetando nações e classes sociais sem respeitar fronteiras de qualquer natureza (Guivant, 2001).

Para Souza e Lourenço (2015), as sociedades modernas são mais vulneráveis e sensíveis do que no passado, devido às oscilações meteorológicas que geram efeitos sobre a sociedade, os quais são frequentemente atribuídos à natureza, embora parte da responsabilidade também recaia sobre a ação humana.

Assim, o conceito de risco deriva da forma como o ser humano se organiza e ocupa o espaço (Girão et al., 2018). Por isso, os estudos buscam, em geral, uma compreensão ampla do fenômeno, com o objetivo de prognosticar a probabilidade de sua recorrência. A partir disso, alguns geógrafos, especialmente da área física, desenvolveram o que se convencionou chamar de avaliação de risco, que consiste na análise da probabilidade de ocorrência de um risco em locais considerados suscetíveis à manifestação de processos perigosos (Souza e Lourenço, 2015). Embora sejam conceitos trabalhos com suas particularidades, eles compartilham características que os conectam ou os diferenciam. Por essa diversidade de modelos, torna-se necessária a realização de observações empíricas e objetivas por parte de cada especialista, visando uma compreensão mais precisa dos riscos em seus contextos específicos (Aquino et al., 2017).

O ISO/IEC Guia 73, define o conceito de “risco” a partir de duas conotações, a primeira em linguagem popular, relacionando ao conceito de acaso, azar ou de possibilidade. E por meio técnico, é avaliada em termos de perdas potenciais, decorrentes de algum motivo particular, local e período (Lourenço e Almeida, 2018).

Ainda há teorias que consideram a vulnerabilidade um elemento intrínseco ao risco, uma vez que sua existência está condicionada à presença de elementos humanos. Segundo (Iwama et al., 2016), o termo vulnerabilidade surge como importante conceito teórico e analítico em relação aos riscos/perigos. Entende-se que a situação de vulnerabilidade e suscetibilidade estão postas nas diversas realidades, através de características naturais e condições sociais e econômicas, influenciando na maior ou menor condição dos mesmo (Girão et al., 2018). Influenciando mesmo que indiretamente, isto é mesmo sem impactos diretos sobre populações humanas, a vulnerabilidade sempre se manifesta de alguma forma, seja por meio de impactos ambientais, como poluição e mudanças climáticas (Rebelo, 1999). Assim, a vulnerabilidade é inerente à concepção de risco, variando apenas em grau de intensidade. Além disso, atualmente não existem locais que não já tenham sido modificados ou estejam imunes a algum tipo de risco originado pela ação humana (Dagnino e Junior, 2007).

Para além das múltiplas definições e modelos, de acordo com a Norma ISO 31000-2020, o risco também pode ser concebido como ameaça e oportunidade (ISO 31000,2020; Enkhtaivan et al., 2025). Defende-se que, caso um evento ocorra, ele poderá gerar efeitos positivos ou negativos.

No campo da Geografia, e especificamente nas Ciências Ambientais, é incomum compreender o risco como uma oportunidade. O geógrafo canadense, Kenneth Hewitt, dedicou anos ao estudo dos riscos e perigos e, em seu livro *Regions of risk: A Geographical Introduction to Disasters*, trabalha com a geograficidade dos riscos. Ele aponta que há uma relação sociedade-ambiente, e que, quando um desastre ocorre, ele promove uma reorganização do espaço (Marandola, 2004). Nesse contexto, os estudos geográficos quase sempre buscam entender a compreensão do todo, no sentido de não se limitar a entender a extensão e o dano que os perigos causaram naquela população, mas procurando um prognóstico da probabilidade daqueles fenômenos acontecerem novamente (Souza e Lourenço, 2015). Com isso, os modelos e as análises de risco têm sido amplamente utilizados como instrumentos de planejamento e gestão, tanto para a prevenção quanto para a mitigação de danos, os modelos não apenas auxiliam na tomada de decisões estratégicas, mas também fornecem embasamento teórico que exige contínuos estudos científicos para seu aprimoramento e aplicação eficaz (Assunção e Miziara, 2009).

Para Gantus-Oliveira (2023), a noção de oportunidade no contexto de risco também pode ser relacionada à resiliência. Esse conceito envolve a capacidade de analisar problemas e propor respostas ágeis, com o objetivo de construir, desenvolver ou fortalecer as capacidades de resposta e adaptabilidade em comunidades locais ou em sistemas como um todo. A resiliência também é definida como “a capacidade intrínseca para um sistema, comunidade ou sociedade afetada por um choque ou estresse de se adaptar ou sobreviver, alterando seus hábitos não essenciais e os reconstruindo” (Manyena, 2006). Esse conceito surge na ecologia, descrevendo a capacidade dos ecossistemas de se manterem em um estado de equilíbrio diante de perturbações ambientais. Atualmente, seu escopo foi ampliado para abranger a habilidade de absorver pressões externas enquanto se reorganiza internamente, adaptando-se às mudanças e mantendo suas funções essenciais (Rodríguez et al., 2021).

A importância da terminologia acontece pois se não há um entendimento comum, podem utilizar produtos cujo conteúdo não corresponda ao esperado (Verde e Zêzere, 2007).

Como mencionado anteriormente, o risco também pode relacionar-se à oportunidade, Brilhante (1999), indica estabelecer uma comparação entre o risco e os benefícios, utilizando métodos para subsídios objetivos e racionais para auxiliar na tomada de decisão.

Verde e Zêzere (2007) elaboraram um modelo de risco que serviu como metodologia para produção de cartografia de suscetibilidade de riscos naturais. Esse trabalho auxilia a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) na definição do risco em Portugal.

As Nações Unidas, no *International Strategy for Disaster Reduction* (ISDR, 2009), definem que o risco de desastre transcende a simples probabilidade de um evento. O risco é considerado um conceito multidimensional, que combina os conceitos de perigo, vulnerabilidade e capacidade.

No Brasil, a definição segue a proposta da *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR), de 2004, na qual o conceito também é expresso pela relação entre risco, perigo e vulnerabilidade (Saito, 2008).

RISCO À INCÊNDIOS

Como foi mencionado, o risco pode ser interpretado de diversas formas, dependendo do contexto, sendo sempre caracterizado pela incerteza associada a um evento potencial, que contém consequências e probabilidades (Enkhtaivan et al., 2025).

O fogo sempre esteve presente na história e no desenvolvimento da sociedade (Santos et al., 2017) e, quando ocorre de forma não controlada configura-se como uma grande ameaça em diversos ecossistemas (Granged et. al, 2011 *apud* Santos et al., 2017). Nesse contexto, existe uma extensa pesquisa sobre o efeito do fogo nos ecossistemas, emissões para a atmosfera, ciclo do carbono, entre outros tópicos que se relacionam (Bento-Gonçalves et al., 2012).

Relacionando a Teoria do Risco com os incêndios, entende-se que o risco de incêndio está sempre presente, enquanto o perigo está relacionado às condições que aumentam a probabilidade de sua ocorrência, como o aumento das temperaturas durante períodos de estiagem prolongada, e a crise se instaura a partir da primeira faísca a propagação em larga escala do fogo. Verde e Zêzere (2007), definem que o risco é a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra em um local específico sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas pelos impactos nos objetos afetados.

A natureza sinótica dos dados de observação da Terra por satélite permite a caracterização consistente da cobertura florestal no espaço e ao longo do tempo (Hansen et al., 2008). A Terra é um planeta intrinsecamente inflamável, considerando sua cobertura vegetal rica em carbono, climas sazonalmente secos, a presença de oxigênio atmosférico e a ampla distribuição de raios e ignições vulcânicas. No entanto, a abrangência global do fogo só foi revelada a partir das observações por satélites na década de 1980. Esses registros mostraram uma associação direta entre a atividade do fogo e áreas de produção primária intermediária, particularmente em savanas tropicais (Hansen et al., 2008; Bowman et al., 2009).

Segundo Ramalho et al. (2024), em um contexto prático, o fogo pode ser considerado como uma ferramenta indispensável para sobrevivência e manutenção da Terra, atuando como um componente modelador da paisagem e dos processos ecológicos de determinados ecossistemas. No entanto, quando descontrolado, é um dos principais fatores que contribuem para a degradação (Hoffmann et al., 2003).

As savanas, em particular, são consideradas ecossistemas adaptados, e se beneficiam do regime do fogo que é naturalmente estabelecido durante a estação chuvosa por meio da ignição de raios (da Silva Arruda et al., 2024). O bioma Cerrado, possui três fisionomias, a campestre (campo limpo de Cerrado), a

savânica (campo sujo de Cerrado, campo cerrado e cerrado *stricto sensu*) e a florestal (cerradão), constituída por florestas tropicais estacionais semidecíduas mais abertas ou “woodlands” (savana florestada). Portanto, um complexo de biomas, distribuídos em mosaico, no entanto, com predomínio de 67% de fisionomia savânica, justificando ser considerado um bioma de savana (Coutinho, 1978; Coutinho, 2006). Vários estudos apontam o fogo como elemento fundamental a estruturação de algumas paisagens do cerrado, considerando ainda que seus efeitos podem ser observados por quem frequenta esses ambientes, como pela rápida rebrota após o fogo, ou pela germinação de sementes que precisam do choque térmico para quebrar sua dormência (Nascimento, 2001).

Muitos estudos se dedicam a entender a dinâmica, a influência e a origem do fogo dentro desse contexto, Cassino et al., (2020), que por meio de um estudo baseado no registro de pólen, carvão e fluorescência de raios X (XRF) de alta resolução, identificaram a presença de carvão vegetal no final do Pleistoceno, nas proximidades da transição para o Holoceno, entre aproximadamente 13.300 e 11.850 anos antes do presente.

Pausas e Keeley (2014) revisitam a história da humanidade, relacionando a origem do fogo à origem das plantas, responsáveis por dois dos três elementos essenciais à sua ocorrência: oxigênio e combustível. Segundo os autores, o terceiro elemento que compõe o chamado “triângulo do fogo”, o calor, esteve disponível ao longo de toda a história do planeta. Durante a Era Paleozóica (há cerca de 540 milhões de anos), a atmosfera já possuía níveis de oxigênio suficientes para sustentar a combustão, contudo, a ausência de combustíveis vegetais terrestres limitava a possibilidade de ocorrência de incêndios. Com o surgimento das primeiras plantas terrestres no período Siluriano, surgiram também as primeiras evidências de fogo. Outra consideração é que o fogo foi determinante para a libertação dos seres humanos e de outros animais, das limitações impostas pela natureza, permitindo-lhes explorar e habitar novas áreas geográficas, inclusive aquelas com climas considerados menos quentes (Stephen Pyne, 1995 *apud* Bento-Gonçalves, 2022, p.16). Durante o Paleolítico e o Mesolítico, o fogo foi empregado para a limpeza de áreas, transformando-as em locais habitáveis, além de ser utilizado para facilitar a caça, promover a regeneração vegetal e fornecer alimento tanto para humanos quanto para animais. Evidências indicam que, já nesse período, o fogo também era manejado com o objetivo de prevenir a ocorrência de grandes incêndios (Bento-Gonçalves, 2022, p.16).

Contudo, a atividade humana tem promovido alterações significativas no regime do fogo. Com o advento dos hominídeos, observam-se mudanças na sazonalidade, intensidade, severidade, frequência e extensão dos incêndios, os quais deixam de atuar exclusivamente como componentes ecológicos (Berlinck e Batista, 2020). A partir da década de 1980, verificou-se um aumento expressivo na frequência, duração e intensidade dos grandes incêndios, fenômeno registrado especialmente em ecossistemas temperados e de altas latitudes nas últimas décadas. Essa intensificação coincide com condições climáticas cada vez mais

favoráveis à ocorrência de incêndios florestais, associada tanto às mudanças nas práticas de manejo quanto a fatores climáticos (Abatzoglou e Williams, 2016; McClure e Jaffe, 2018).

À medida que a ação antrópica modifica os padrões globais de vegetação, ignição e clima, estabelece-se uma nova dinâmica de perturbação, caracterizada por um regime de fogo que se dissemina progressivamente em escala planetária. Nesse contexto, as mudanças climáticas desempenham um papel central na intensificação da atividade de incêndios florestais. Segundo Jolly et al., (2015), entre 1979 e 2013, houve um aumento global de 18,7% na duração da temporada de incêndios, com crescimento médio de 6,3% por década. Adicionalmente, observou-se um acréscimo de 1,31 dias sem precipitação por década, o que reforça a influência das condições climáticas sobre a ocorrência e propagação do fogo.

As consequências climáticas decorrentes das alterações no regime do fogo continuam sendo motivo de grande preocupação. Desde 2014, observou-se um aumento expressivo nos índices de desmatamento e na quantidade de focos de incêndio, culminando em 2020 com o maior número registrado no período de 2011 a 2020: 222.798 focos identificados (Pivello et al., 2021).

Vulnerabilidade

O Sexto Relatório do *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC), de 2022, apresenta o conceito de vulnerabilidade como um componente do risco, definindo-o também como a propensão ou predisposição a ser afetado, incluindo uma variedade de aspectos, como sensibilidade ou suscetibilidade (IPCC, 2023). No campo da Geografia, diversos autores se destacaram por suas contribuições à forma de pensar e conduzir a análise geográfica a partir de distintas abordagens a respeito dessa temática (Simões et al., 2023).

No Brasil, em 1971, a UNESCO encarregou o geógrafo francês Jean Tricart de realizar pesquisas relacionadas ao aproveitamento do meio ambiente. Como resultado, Tricart (1997) publicou, em parceria com o IBGE, a obra *Ecodinâmica*, na qual desenvolveu uma metodologia de análise integrada, considerando tanto os processos antrópicos quanto os naturais na configuração da paisagem (Tricart, 1977; Silva, 2003; Simões et al., 2023).

Para Tricart (1977), a interação entre ecossistemas e seres vivos fornece uma abordagem integrada da ecodinâmica, permitindo a identificação rápida das modificações indiretas e dos processos desencadeados na paisagem. Suas proposições influenciaram significativamente a literatura geográfica brasileira (Simões et al., 2023), inspirando autores, como Ross (1994), que desenvolveu o conceito de fragilidade ambiental, considerando que a análise ambiental não deve se basear em uma perspectiva estática, mas sim considerar o processo de ocupação do território, compreendendo as interações entre os componentes

físicos da paisagem e as formas de uso e ocupação do solo. Sua abordagem inclui o uso de ferramentas cartográficas para o zoneamento ambiental.

Outro autor de destaque é Crepani (1996), que, a partir dos conceitos de ecodinâmica e incorporando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), propôs uma metodologia para a definição dos graus de vulnerabilidade. Nessa abordagem, mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e de uso da terra são analisados por meio de interseções, resultando na produção de mapas temáticos com valores relativos e empíricos sobre os diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental (Crepani et al., 2001).

A vulnerabilidade é um conceito constitutivo e estrutural intrínseco aos seres humanos e, por isso, é frequentemente associada de forma quantitativa à capacidade do ambiente natural de sustentá-los. Nesse contexto, a vulnerabilidade ambiental deixa de ser apenas um objeto de análise e passa a ser compreendida como um sujeito de direitos, sendo reconhecida como suscetível a estados de fragilidade resultantes da intervenção humana. Essa dinâmica, ainda que involuntária, também torna os próprios seres humanos vulneráveis em diferentes graus, dependendo do nível de exposição aos riscos ambientais (Guimarães e Corte, 2024).

As Nações Unidas (UN/ISDR, 2009) definem a vulnerabilidade como uma condição ou um resultado de um processo que pode ter múltiplas origens. Trata-se de um fenômeno não natural, abrangendo diversos fatores, desde econômicos até ambientais, e está diretamente relacionado à apropriação do espaço pelo ser humano. Por ser um processo cumulativo, sua análise exige um exame detalhado, com especificações de escala e área. Além disso, a vulnerabilidade envolve duas características fundamentais: exposição e incapacidade (Pelling, 2003). A exposição refere-se aos elementos presentes em uma área de risco e que são suscetíveis a danos, enquanto a incapacidade, segundo Bogardi e Brauch, (2005) diz respeito a todas as limitações que impedem a sociedade de lidar com perigos naturais. Essas características nunca são analisadas isoladamente, uma vez que envolvem aspectos como fragilidade física e diferentes tipos de vulnerabilidade, incluindo social, legal e cultural (Alcântara et al., 2013).

Ainda nesse contexto, Roy et al., (2024) argumentam que a vulnerabilidade é determinada por um conjunto de condições que envolvem indivíduos inseridos em um contexto histórico, cultural, social, ambiental, político e econômico específico. Além disso, destacam que essas pessoas não são apenas vítimas, mas também agentes ativos da vulnerabilidade. Dessa forma, existem abordagens integradas e multidimensionais que são fundamentais para compreender as causas da vulnerabilidade.

A Tabela 1 apresenta a aplicação do estudo da vulnerabilidade por meio de uma abordagem multidimensional.

Tabela 1: Metodologias, abordagens e indicadores de avaliação de vulnerabilidade ambiental.

Abordagem	Método	Indicadores	Local	Ano	Autor (es)
Baseada em Indicadores	EV (<i>Environment Vulnerability</i>)	1;2;3;4;5	Bangladesh	2024	Roy et. Al.
	EI (<i>Exposure Index</i>)	1;2;3;6;7;8	Irã	2024	Pirasteh et. Al.
	IV (Índice de Vulnerabilidade)	9;10;11; 12;13	Brasil	2024	Silva et. Al.
Análise Espacial e SIG	EDT (<i>Empirical Decision Trees</i>) SDT (<i>Statistical Decision Trees</i>)	a;	Brasil	2020	Alencar et. Al.
	AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)	a; b;	Índia	2023	Das et. Al.
	AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)	a; b; c	Romênia	2024	Chelariu et. Al.
Matemática e Estatística	Lógica fuzzy	b;	Brasil	2024	Elaine Cordeiro dos Santos
	ANN (<i>Artificial Neural Network</i>)	a; b	China	2022	Zhang et. Al
	ANN (<i>Artificial Neural Network</i>)	a; b; c	Argélia	2023	Abdelhamid Zaidi

Legenda: 1 – Hidro meteorológico; 2 – Topográfico; 3 – Antropogênico; 4 – Recursos terrestre; 5 – Riscos naturais; 6 – climáticos; 7 – geomorfológicos; 8 – vegetação; 9 – Exposição; 10 – Sensibilidade; 11 – Impacto Potencial (IP); 12 – Capacidade Adaptativa (CA) | a – Sensoriamento Remoto (SR); b – métodos estatísticos; c – sistema de informação geográfica (SIG).

Embora cada pesquisa possua uma abordagem específica, muitos estudos incorporam outros fatores em suas análises. Por exemplo, Roy et al. (2024) empregam o método de *Environmental Vulnerability* (EV), mas também utilizam dados geoespaciais e a lógica *fuzzy* para determinar a sensibilidade do sistema.

A avaliação da vulnerabilidade adota uma abordagem abrangente, pois visa representar a complexidade dos sistemas nos quais os riscos estão inseridos. Parte-se da análise da exposição, com o objetivo de quantificar e mapear os múltiplos riscos envolvidos, de modo a gerar subsídios e *insights* que orientem a formulação e a implementação de metodologias eficientes (Pirasteh et al., 2024).

Os múltiplos riscos incluem a ocorrência de fenômenos físicos, naturais ou atividades humanas capazes de causar danos. Esses riscos são caracterizados por sua extensão espacial, intensidade, frequência e probabilidade de ocorrência (Schilling et al., 2013; Wilhelmi e Morss, 2013 *apud* Pirasteh et al., 2024).

Nesse contexto, o conceito de vulnerabilidade tem sido utilizado para descrever a suscetibilidade a danos, a impotência e a marginalização de sistemas físicos e sociais (Adger, 2006). Essa noção está

relacionada à forma como o ser humano percebe e interage com o meio natural, muitas vezes assumindo uma posição passiva diante de eventos inesperados e fora do controle antropogênico (Gadelha et al., 2021). Em um sentido mais geral, a vulnerabilidade refere-se à propensão ou suscetibilidade a danos, sendo influenciada por características individuais ou do grupo social, que afetam a capacidade de antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar desses impactos (Wisner, et. Al., 2003). E para determiná-la, a avaliação considera três dimensões fundamentais: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (Iwama et al., 2016)

A exposição é definida pelo grau, duração e extensão em que um sistema é impactado por perturbações (Fussel e Klein, 2006). A sensibilidade reflete a capacidade do sistema natural ou humano de absorver as consequências desses impactos sem sofrer danos irreversíveis ou mudanças significativas a longo prazo (Lindoso et al., 2011). Por fim, a capacidade adaptativa refere-se à habilidade do sistema de responder às perturbações, englobando sua capacidade de ajuste, mitigação de danos potenciais, aproveitamento de oportunidades e superação das consequências das mudanças que ocorrem dentro do sistema (Pirasteh et al., 2024).

INCÊNDIOS

O fogo é resultado de uma reação química, nomeada de combustão, entre um combustível e um comburente, normalmente o oxigênio, que se inicia se existir energia suficiente para desencadear essa reação. Esses três elementos constituem o triângulo do fogo, que associa-se a um quarto, a reação em cadeia, que permite a manutenção e o desenvolvimento do tetraedro do fogo (Castro et. Al, 2006).

Fatores de Ignição

A ignição, a propagação e o comportamento/dinâmica dos incêndios florestais dependem de diversos fatores, que, de acordo com o conhecido triângulo do fogo, podem ser classificados em três principais componentes: meteorologia, topografia e vegetação (Alves et al., 2023).

Castro et. Al. (2006) os classificam da seguinte forma: características dos combustíveis sendo a distribuição vertical e horizontal, dimensão, quantidade, umidade do combustível, combustibilidade e porcentagem de combustíveis finos mortos. A característica do relevo, sendo a forma, declividade e exposição das vertentes, e as condições meteorológicas, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Do ponto de vista conceitual, a meteorologia pode ser subdividida em clima e tempo meteorológico. O clima, conforme definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), refere-se ao padrão estatístico das condições atmosféricas de uma determinada região, definido com base em um conjunto de variáveis medidas ao longo de um período de, no mínimo, 30 anos. Já o tempo meteorológico corresponde ao estado momentâneo da atmosfera, caracterizado por condições que variam em escalas temporais mais curtas, como

de hora em hora ou diariamente (Sampaio e Silva Dias, 2014). Ambos influenciam diretamente a vegetação e fatores como temperatura, precipitação e direção do vento, que, por sua vez, afetam a ocorrência e o comportamento dos incêndios florestais (Alves et al., 2023).

Como mencionado, os dados meteorológicos são caracterizados por um vasto conjunto de parâmetros, que pode ser dividido em dois grupos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Fatores de Ignição Meteorológicos.

Tipo	Definição	Fatores
Fatores Condicionantes	São aquelas favoráveis à ignição por condicionarem o teor de umidade dos combustíveis finos	Precipitação (mm) – Afeta o teor de água do solo e o de umidade da vegetação (viva ou morta) Radiação solar (ondas eletromagnéticas) – Responsável pelo aquecimento do ar e do solo Temperatura (°C) – Altas temperaturas favorecem a secagem dos combustíveis florestais Umidade relativa do ar (%) – Índices abaixo de 30% favorecem a secagem de combustíveis finos
Fatores determinantes	São aqueles favoráveis à propagação do incêndio	Vento atmosférico (m/s e °) – velocidade e direção – distância percorrida por uma dada massa de ar em uma unidade de tempo Estabilidade atmosférica (dT/dz , [°C/m]) – variação da temperatura do ar na vertical – Favorece ou inibe o movimento vertical do ar

Fonte: Elaborada pela autora, adaptado de Alves et al., 2023.

A irradiação solar é a principal fonte de energia do planeta Terra. No entanto, o sistema climático é influenciado por um conjunto de fatores. A radiação solar, combinada com elementos topográficos, como a orientação do relevo, interfere na exposição ou no sombreamento da vegetação, afetando diretamente a temperatura do ambiente (Alves et al., 2023; Gómez et al., 2018). A temperatura, por sua vez, apresenta um ciclo diurno determinado pela radiação solar, podendo sofrer variações devido à entrada de massas de ar mais quentes ou mais frias. Essas variações têm o poder de interferir na velocidade e intensidade dos ventos, na estabilidade atmosférica, na umidade relativa do ar, causando impacto no comportamento do fogo (Ramalho et al., 2021). O vento atmosférico é um dos fatores meteorológicos mais determinantes para a propagação dos incêndios florestais. Seu perfil vertical tende a aumentar com a altitude, sendo praticamente nulo ao nível do solo e intensificando-se progressivamente em maiores altitudes. No entanto, durante um incêndio florestal, o vento atmosférico se combina ao vento induzido pelo próprio fogo (Alves et al., 2023).

A topografia exerce influência direta através das suas variações espaciais na altitude, exposição, declividade e configuração do relevo. Esses elementos modificam a propagação do fogo ao interferirem na

velocidade e intensidade das chamas, Rothermel, (1972), chama esse fenômeno de influência na geometria das chamas (Dias, 2023). Os combustíveis, por sua vez, são definidos pela estrutura e composição da vegetação, para além de fatores antropogênicos (Marques et al., 2011).

Áreas de Ocorrência

A compreensão dos padrões geográficos das queimadas de origem antrópica em diferentes paisagens é fundamental, pois permite avaliar a amplitude histórica da variabilidade e do comportamento do fogo, elementos que desempenham papel importante na sobrevivência e na manutenção de diversas espécies e ecossistemas (Bowman et al., 2011).

Os ecossistemas e o regime do fogo são fundamentalmente diferentes, os atributos e características de cada ecorregião constituem uma base para sua relação com o fogo (Hardesty et al., 2005).

Com base nos estudos de Hardesty et al. (2005), onde os autores categorizam os ecossistemas em três grupos: dependentes, independentes e sensíveis ao fogo, estuda-se e desenvolve-se um mapa da relação dos biomas brasileiros com o fogo (Pivello et al., 2021). A classificação fundamenta-se no tipo de vegetação predominante; no entanto, mesmo dentro de um único bioma, há variações na composição vegetal e em sua respectiva sensibilidade ao fogo.

Dessa forma, a heterogeneidade estrutural e funcional dos biomas impossibilita uma categorização totalmente homogênea, apresentando manchas dentro da classificação. Um exemplo disso ocorre nas florestas tropicais atlânticas, classificadas como sensíveis ao fogo, mas que contêm formações de campos abertos arbustivos com elevada inflamabilidade. Em condições naturais, livres de interferências antrópicas, os mosaicos ecológicos compostos por ecossistemas dependentes e sensíveis ao fogo tenderiam a apresentar maior estabilidade ao longo do tempo (Pivello et al., 2021).

A análise da ocorrência do fogo em diferentes regiões reforça essa heterogeneidade. Estudos realizados no Brasil destacam que em áreas como o Norte Fluminense, no Rio de Janeiro, inserido no bioma da Mata Atlântica (Fernandes et al., 2011), a porção do Cerrado na Bahia (Silva et al., 2020) e a Caatinga em Pernambuco (Junior e Pacheco, 2021).

As regiões analisadas apresentam condições ambientais distintas, as quais influenciam de forma diferenciada a dinâmica do fogo. Fatores como altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e vegetação seca, combinados a ações antrópicas, como o uso do solo para pastagens, contribuem significativamente para a propagação dos incêndios (Fernandes et al., 2011). Em contrapartida, áreas caracterizadas por extensa rede hidrográfica, solos antigos bem drenados, clima tropical semiúmido com elevado índice pluviométrico e temperaturas amenas configuram-se como regiões com alto potencial para o desenvolvimento do agronegócio (Matricardi et al., 2019). Por outro lado, o Domínio das Caatingas, nomeado em razão dos longos períodos de

estiagem, apresenta clima semiárido, com solos frequentemente expostos a elevadas temperaturas que podem atingir até 60 °C. Nessa região, a presença de rios intermitentes também marca a paisagem, reforçando as limitações hídricas e acentuando a vulnerabilidade frente aos incêndios florestais (Bello et al., 2023).

No sul da Europa, as transformações socioeconômicas impactaram diretamente o uso da terra e os modos de vida locais, resultando no abandono de extensas áreas agrícolas. Esse abandono favorece o acúmulo de biomassa, tornando essas regiões mais suscetíveis à ocorrência de grandes incêndios (Bento-Gonçalves, 2024). Segundo Muñoz (2018), a concentração da população em áreas urbanas está se expandindo para interface urbano-florestal, provocando mudanças significativas nas políticas florestais. Estas, anteriormente voltadas à produção de madeira, passaram a priorizar a conservação da paisagem, o que, por sua vez, também contribui para o acúmulo de material combustível e, consequentemente, para o aumento do risco de incêndios no sul do continente.

A título de exemplo, podemos referir que na região de Baião, em Portugal, foi identificado que os incêndios de maiores dimensões estavam associadas a áreas de vegetação densa, com moradias dispersas, locais abandonados pela agricultura e áreas de interface urbano-florestal (Santos et al., 2023).

Entre 2019 e 2020, diversas regiões da Austrália enfrentaram uma das temporadas de incêndios mais intensas já registradas, afetando cerca de 19 milhões de hectares. Essa ocorrência foi resultado da convergência de múltiplos fatores, incluindo condições meteorológicas extremas, políticas ambientais inadequadas e o crescimento populacional desordenado (Mondragón, 2021).

Nos Estados Unidos, observa-se um padrão semelhante, com o acúmulo de combustíveis devido à política de controle de incêndios no último século, resultando em um aumento da inflamabilidade da vegetação. O crescimento das interfaces urbano-florestais também têm contribuído para a intensificação da incidência de incêndios (Baker et al., 2020).

Com base nesses estudos, é possível identificar padrões de ocorrência do fogo, em que, fatores como o aumento da temperatura, longos períodos de estiagem e a presença de vegetação seca aparecem como elementos convergentes. No entanto, cada região apresenta suas particularidades. Um aspecto relevante, que diferencia o Brasil dos demais contextos, é o papel das interfaces urbano-florestais, que não possuem a mesma relevância no cenário brasileiro.

Tipologias

Algumas obras, como a de Pivello et al. (2021) e Stacey et al. (2012) elaboraram um glossário contendo termos e tipologias de incêndios, destacando diferentes categorias e suas implicações ambientais e de manejo.

Segundo Stacey et al. (2012), o fogo é resultado de uma reação química de combustão, que ocorre quando há a combinação adequada de três elementos fundamentais: combustível, oxigênio e calor. Quando esses componentes estão presentes nas proporções corretas, desencadeia-se o processo de ignição, podendo originar incêndios.

O incêndio florestal é caracterizado como um fogo não planejado e descontrolado, cuja origem pode estar associada tanto a causas naturais, como raios, quanto à ação antrópica. Por sua natureza imprevisível, pode rapidamente se transformar em um evento de grandes proporções, provocando danos significativos aos recursos naturais, às propriedades e representando riscos à vida humana (Pivello et al., 2021). Esses incêndios podem ocorrer em diferentes tipos de vegetação, como pastagens, turfeiras e matas. Em distintas regiões do mundo, o fenômeno é referido por termos variados. (Bento-Gonçalves et al., 2012) publicaram um artigo que trabalha os conceitos chaves e estudos recentes a respeito do tema.

Diversos termos são empregados globalmente para descrever incêndios de vegetação que ocorrem fora do ambiente urbano. Nos Estados Unidos, o termo *wildland fire* é considerado "qualquer incêndio que não seja em uma estrutura e que ocorra em área selvagem, incluindo *wildfire*, uso do fogo em áreas selvagens e fogo prescrito" (National Wildfire Coordinating Group, 2011). Na Austrália, o termo *bushfire* é usado para descrever qualquer incêndio de vegetação (Australasian Fire Authorities Council, 2010). Além disso, o termo genérico *wildfire* é utilizado para descrever qualquer incêndio de vegetação não planejado, incluindo incêndios em campos, florestas e vegetação rasteira (Australasian Fire Authorities Council, 2010). O termo "*forest fire*" é empregado pelo Instituto para o Meio Ambiente e Sustentabilidade do Centro de Pesquisa Conjunta da Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2010) em seu relatório anual sobre incêndios em países europeus. No Canadá, os termos *forest fire* e *wildfire* são definidos pelo Centro Interagências Canadense de Incêndios Florestais (2003).³ (Bento-Gonçalves et al., 2012, p. 5-6)

[Tradução livre]

Os megaincêndios estão relacionados aos incêndios florestais convencionais, porém apresentam particularidades que os diferenciam. Mais do que a extensão da área queimada — que pode variar entre centenas e milhares de hectares —, esses eventos se destacam principalmente pela intensidade, severidade, longa duração e dificuldade de controle (Fidelis et al., 2018).

A gestão integrada do fogo (*Integrated Fire Management* - IFM) é um conceito para sistemas de planejamento e operações, que usam de avaliações sociais, econômicas, culturais e ecológicas para minimizar os danos e maximizar os benefícios do fogo. Usando da combinação de estratégias e técnicas (Rego et al., 2010; Pivello et al., 2021).

³ Several terms are used across the globe to describe vegetation fires in areas outside the urban environment. In the United States the term *wildland fire* is considered "any non-structure fire that occurs in the wildland and includes *wildfire*, *wildland fire use*, and *prescribed fire*" (National Wildfire Coordinating Group, 2011). In Australia the term *bushfire* is used to describe any vegetation fire (Australasian Fire Authorities Council, 2010). In addition the generic term *wildfire* is used to describe any unplanned vegetation fire including grass fires, forest fires and scrub fires (Australasian Fire Authorities Council, 2010). The term "*forest fire*" is used by the European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability (European Commission, 2010) in their annual report on fires in European countries. In Canada the terms *forest fire* and *wildfire* are defined by the Canadian Interagency Forest Fire Center (2003).

O comportamento do fogo está associado tanto à sua existência e ignição quanto ao regime a que pertence (Stacey et al. 2012). O regime de fogo refere-se ao padrão espacial e temporal com que os incêndios ocorrem em uma determinada região, englobando características como o tipo de fogo (de chão, de superfície ou de copa), intensidade, frequência, sazonalidade e extensão (Cochrall e Ryan, 2009). O regime de fogo natural ocorre na ausência de interferência humana, sendo determinado por condições ecológicas e climáticas locais. O regime de fogo natural ocorre sem intervenção humana, em contraste com o regime de fogo antrópico, influenciado por atividades humanas (Cochrane e Ryan, 2009; Pivello et al., 2021).

Com base na revisão de literatura realizada, elaborou-se o seguinte glossário com os principais termos e conceitos relacionados aos incêndios:

Tabela 3: Glossário dos termos e conceitos de incêndio.

Glossário:	
Borda do fogo	Qualquer área que alcance o perímetro do fogo.
Cicatriz do Fogo	Impressão deixada pelo fogo na área queimada, caracterizada por alterações na vegetação, no solo e na coloração da paisagem.
Fogo de coroa	Ocorre quando as chamas saltam de uma copa de árvore para outra, alcançando altas intensidade e podendo ser extremamente destrutivo.
Fogo de chão	Manifesta-se em solos ricos de matéria orgânica, consumindo lentamente o combustível por longos períodos (dias, semanas ou até meses) sem produzir chamas visíveis, por isso é um dos mais difíceis de extinguir.
Fogo de superfície	Consome o material depositado sobre o solo, como serapilheira e vegetação herbácea. Esse tipo de fogo é comum em pastagens e savanas, mas também pode ocorrer em florestas
Temporada de incêndios	Corresponde ao período do ano em que os incêndios são mais prováveis, levando as agências de defesa a organizarem estratégias de combate e controle.
Propagação do fogo	Movimento do fogo através dos combustíveis disponíveis distribuídos na paisagem, influenciado por fatores como tipo de vegetação, topografia, condições meteorológicas e continuidade do material combustível.
Severidade do fogo	Está relacionado aos impactos ecológicos negativos causados nos ecossistemas, sendo proporcional à intensidade e duração do fogo. A severidade pode ser avaliada por meio da perda de matéria orgânica do solo e da vegetação, incluindo a taxa de mortalidade de organismos
Intensidade do fogo	Definida como a quantidade de energia liberada na frente de propagação do fogo. Em um sentido mais amplo, representa a potência energética total do evento

Fonte: Elaborado a partir da literatura de Stacey, et al. (2012) e Pivello et al., (2021).

Incêndios em Unidades de Conservação (UC)

A identificação e valorização do ambiente natural têm origem nos avanços da astronomia e da física europeia, especialmente durante o período iluminista. À medida que a ciência passava a revelar um universo vasto, complexo e harmonioso, consolidava-se a percepção da natureza como uma criação majestosa e admirável (Nash, 2014). No decorrer do século XIX, esse olhar se aprofundou com o surgimento do transcendentalismo romântico entre artistas e intelectuais norte-americanos, movimento que promoveu uma valorização estética, espiritual e filosófica das paisagens naturais, em oposição à crescente industrialização e urbanização (Franco et al., 2015).

A criação do Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos, em 1872, é amplamente reconhecida como um marco na história das áreas protegidas. Sua consolidação foi impulsionada pelo ativismo de pensadores, escritores e defensores dos ambientes selvagens, que promoviam um ambiente intelectual propício à proteção da natureza. Esse modelo pioneiro de conservação foi progressivamente adotado por outros países (Franco et al., 2015).

No Brasil, esse movimento influenciou diretamente André Rebouças (1833–1898), engenheiro civil, botânico, geólogo e abolicionista, que, inspirado pela criação de Yellowstone, passou a defender com vigor a implantação de parques nacionais no país. Entre suas propostas, destacam-se a criação de unidades na Ilha do Bananal, no rio Araguaia, e em uma extensa área entre as Cataratas de Guaíra e as do Iguaçu, no rio Paraná. Após sua morte, suas ideias foram retomadas por Luiz Felipe Gonzaga de Campos, que em 1912 publicou um mapa com os principais ecossistemas brasileiros, reforçando a importância da conservação (Rylands e Brandon, 2005). O primeiro parque nacional brasileiro, entretanto, só viria a ser criado em 1937: o Parque Nacional de Itatiaia, no Rio de Janeiro (Moura, 2016).

A Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) serviu como base para a criação, em 1948, da União Internacional para a Proteção da Natureza (IUPN), posteriormente denominada *International Union for Conservation of Nature* (IUCN). Atualmente, a IUCN é a maior organização internacional de conservação do mundo e define as áreas protegidas como "um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e gerido, através de meios legais ou outros mais eficazes, para alcançar a conservação a longo prazo da natureza com serviços ecossistêmicos e valores culturais" (IUCN, 2008).

As principais diferenças entre as áreas protegidas no Brasil e no contexto internacional residem na estrutura de gestão e nas categorias de conservação adotadas. No Brasil, a Lei nº 9.985/2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) com o principal objetivo de assegurar a viabilidade da conservação da biodiversidade a longo prazo, organizando um conjunto de áreas protegidas com normas e critérios claros para sua criação e gestão. No âmbito internacional, a IUCN propõe uma estruturação das áreas

protegidas por meio de um sistema de categorização adotado globalmente, cuja implementação varia entre os países (Félix e Fontgalland, 2021).

No Brasil, a consolidação da conservação ambiental, nos moldes atuais, só se inicia com a Constituição de 1934, que conferiu à natureza o status de patrimônio nacional. Quanto às áreas protegidas, em território nacional, essas correspondem, em termos legais e institucionais, às Unidades de Conservação (UCs) (Félix e Fontgalland, 2021). A política ambiental, inicia-se com preocupação principal com a administração dos recursos naturais (Moura, 2016).

A implementação de áreas protegidas, no Brasil, envolve processos legais e administrativos complexos, como a elaboração de planos de manejo e consultas públicas. O objetivo da legislação é integrar a conservação com o uso sustentável dos recursos naturais, buscando um equilíbrio entre a proteção ambiental e o desenvolvimento econômico (SNUC, 2004). No entanto, como a implementação das diretrizes da IUCN é de responsabilidade de cada país, existem diferentes interpretações e aplicações (Mitchell et al., 2023). Países desenvolvidos frequentemente possuem mais recursos e capacidade de gestão em comparação com nações em desenvolvimento. Um dos principais pontos de divergência refere-se à percepção dessas áreas: no Brasil, a sociedade tende a considerar as Unidades de Conservação como espaços excludentes, enquanto, no contexto internacional, há um foco na garantia de que as áreas protegidas respeitem os valores culturais e os serviços ecossistêmicos, considerando a população local (Félix e Fontgalland, 2021).

Os incêndios florestais representam uma grande ameaça às Unidades de Conservação (UCs). Bontempo et al. (2011) diz que essas ameaças decorrem, principalmente, da incapacidade de garantir a proteção das UCs, o que ocorre devido à falta de informações confiáveis que permitam a compreensão do comportamento do fogo na vegetação de cada unidade. Essa deficiência resulta em falhas no planejamento e no combate aos incêndios.

Essas informações referem-se, sobretudo, aos fatores de ignição, como condições meteorológicas, clima, topografia e vegetação. Além disso, o comportamento do fogo pode ser analisado por meio do zoneamento da ocorrência de incêndios (Ramalho et al., 2021a), do uso de técnicas de sensoriamento remoto (Borges et al., 2021), ou, por meio de coleta de informações junto a moradores locais e da análise dos dados fornecidos pelos Registros de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROIs) (Bontempo et al., 2011).

Com o objetivo de compreender as tendências recentes sobre a temática, Folharini et al. (2023) realizaram uma análise bibliométrica considerando termos, palavras-chave, citações, referências e índices de avaliação relacionados ao assunto. Os resultados indicaram que a maioria das publicações foi produzida por autores dos Estados Unidos, África do Sul, Reino Unido e Brasil, respectivamente.

Ao conhecer o perfil de comportamento dos incêndios florestais, torna-se possível aumentar a eficiência do combate a esses eventos, possibilitando a aplicação de técnicas e estratégias adequadas de manejo do fogo.

Manejo Integrado do Fogo

O fogo é usado como ferramenta para moldar paisagens há milhares de anos, como mencionado anteriormente. Estudos paleontológicos conduzidos por Ferraz-vicentini e Salgado-Labouriau (1996) indicam que os incêndios naturais ocorrem há pelo menos 32.400 anos ap no Cerrado Brasileiro. Em diversos ecossistemas dependentes do fogo, essa prática tem sido incorporada há décadas como parte do manejo de áreas protegidas. Exemplos notáveis incluem regiões da Eurásia temperado-boreal (Goldammer, 2015), os Estados Unidos (Asmar et al., 2024), a Austrália e o Sul da África (Russell-Smith et al., 2021), bem como áreas específicas da África do Sul (GEF, UNDP, FAO & Department of Environment Affairs, 2016), entre outras.

No histórico brasileiro, a tendência é excluir o fogo das Unidades de Conservação (UCs), com exceção dos aceiros negros, que são implementados no início da estação seca no entorno e, por vezes, no interior de algumas unidades. Além disso, mesmo os moradores dessas áreas, quando presentes, são proibidos de utilizar o fogo como prática de manejo (Schmidt et al., 2016).

A supressão do fogo por longos períodos pode resultar em mudanças vegetacionais significativas (Hoffman et al., 2012). No contexto do Cerrado, essa prática tem como consequência o adensamento de espécies arbóreas em áreas de savana e campos nativos, alterando profundamente a dinâmica ecológica desses ambientes (Batista et al., 2021). É importante fazer uma distinção entre a exclusão natural do fogo, que pode promover a regeneração florestal, e a expansão florestal induzida — um processo que impõe altos custos à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos. A presença de dossel fechado, resultado da supressão do fogo, é fundamentalmente incompatível com a manutenção da diversidade característica dos sistemas herbáceos, pois reduz drasticamente a entrada de luz, limitando o crescimento de espécies adaptadas a ambientes abertos (Veldman et al. 2015). No Cerrado, cuja precipitação média anual varia entre 800 e 2000 mm e que apresenta uma estação seca bem definida, há um acúmulo substancial de biomassa durante o verão chuvoso. Essa biomassa torna-se altamente inflamável na estação seca, criando condições propícias à ocorrência de incêndios de difícil controle (Batista et al., 2021).

Adicionalmente, a proibição do uso do fogo em propriedades rurais gera conflitos entre os proprietários de terras e as agências ambientais do governo, criando uma tensão que pode levar à ocorrência de incêndios criminosos (Batista et al., 2021).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF), foi implementado pela primeira vez no Brasil em 2014, em três UCs de proteção integral: Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM) no Maranhão, Parque Estadual do

Jalapão (PEJ) e Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), ambos no Tocantins (Schmidt et al., 2016). Eram feitas a realização de queimas precoces no início da estação seca, como estratégia para mudar o atual regime do fogo, que até então era caracterizado como frequentes incêndios de grande extensão no final da estação seca, proteger as vegetações sensíveis ao fogo e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, ela também permite fragmentar e reduzir a quantidade de material combustível (Schmidt et al., 2016).

Laris e Wardell (2006), elaboraram um estudo para reinterpretar as paisagens de savana da África Ocidental, para os autores, a decisão política sobre o uso ou exclusão do fogo se relaciona com diferentes percepções sobre o fogo, os classificando como “mal”, “mal necessário” ou “necessidade”.

O “mal” uso relaciona-se com a ideia de que o uso tradicional do fogo é uma prática arcaica, que altera a paisagem de maneira negativa, o uso como “mal necessário”, indica que quando é feito por circunstâncias específicas ou controladas, geralmente no início da estação seca e regulamentado por licenças. Por fim, a percepção do fogo como necessidade reconhece o fogo não apenas como uma ferramenta para evitar incêndios florestais, mas também como um componente ecológico e cultural para a manutenção da savana (Berlinck e Lima, 2021).

Retornando ao contexto brasileiro, em 2009 iniciaram-se negociações sobre o uso do fogo para determinadas práticas tradicionais, como a agricultura e o pastoreio, na EESGT, regulamentadas por meio de Termo de Compromisso (TC). Esse acordo, regularizado em 2012, foi o primeiro firmado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que autorizou o uso do fogo por comunidades quilombolas em uma unidade de conservação de proteção integral. No entanto, apresentou limitações significativas, uma vez que desconsiderou as dimensões sociais e culturais associadas ao uso tradicional do fogo (Berlinck e Lima, 2021).

Essa experiência despertou atenção nacional para a temática do uso do fogo em unidades de conservação de proteção integral. Em 2013, a EESGT foi selecionada para sediar o 1º Seminário Internacional de Manejo Integrado do Fogo (MIF), realizado no Brasil em parceria com a Alemanha (projeto Cerrado-Jalapão). Esse evento marcou, provavelmente, o início das discussões formais sobre o MIF no país. A partir desse ponto, diversas trocas de experiências e projetos internacionais passaram a fornecer subsídios importantes para que os gestores compreendessem melhor a temática, por meio do intercâmbio com outros países. Esse processo ampliou a compreensão sobre a governança relacionada ao manejo do fogo, incentivando os envolvidos a lidar com incertezas e riscos em prol da adoção de técnicas mais eficazes de manejo (Berlinck e Lima, 2021).

A partir de uma experiência técnica na Austrália, em 2014 a EESGT publicou seu Plano de Manejo Integrado do Fogo (ICMBIO/MIF), constituindo um marco importante para a institucionalização dessa abordagem no Brasil. No ano seguinte, em 2015, foi implementada a tríade “manejo, cultura e ecologia do fogo”, consolidando um processo contínuo de aprendizado e aprimoramento (Barradas e Ribeiro, 2021). As

queimadas prescritas foram gradualmente expandidas para toda a área da unidade de conservação, inspiradas na prática ancestral das queimadas em mosaico, tradicionalmente utilizadas por comunidades locais. Essa abordagem, fundamentada também em pesquisas anteriores, têm contribuído para a manutenção da heterogeneidade da paisagem nas savanas (Laris e Wardell, 2006; Berlinck e Lima, 2021).

Em 2019, o Brasil sediou a sétima edição da *International Wildland Fire Conference* (ILC), cujo tema central foi: “*Frente a frente com o fogo em um mundo em mudanças: redução da vulnerabilidade das populações e dos ecossistemas por meio do Manejo Integrado do Fogo*”. Os resultados e desdobramentos do evento foram publicados como resumo na revista científica *Biodiversidade Brasileira*, Número Especial – 7ª Conferência Internacional sobre Incêndios Florestais – Resumos – Ano 9 – Número 1 – 2019, consolidando reflexões e avanços em torno do tema. Atualmente, o MIF encontra-se regulamentado pela Lei Federal nº 14.944, de 2024.

A Coordenação de Manejo Integrado do Fogo (CMIF), juntamente com o Comitê de Assessoramento Técnico do MIF (COMIF), instituições do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), elaboraram um Roteiro para elaboração dos Planos de Manejo Integrado do Fogo (PMIF) das Unidades de Conservação (UCs), com a finalidade de orientar a gestão do fogo nas UC, a médio e longo prazo, balizando os planejamentos, os monitoramentos e as avaliações anuais (ICMBio/MMA, 2022).

O planejamento do MIF organiza-se com base em três documentos: o Plano de Manejo Integrado do Fogo (PMIF), que tem como objetivo estabelecer um planejamento estratégico com um plano específico para a Unidade de Conservação (UC); o Plano Operativo Anual (POA), que corresponde à prevenção e combate a incêndios florestais — trata-se de um documento de caráter tático-operacional, que deve conter informações prévias sobre as ações a serem executadas, considerando aspectos técnicos, orçamentários e o escalonamento de prioridades para o ano de referência; e, por fim, o Relatório Anual, que servirá para o monitoramento do PMIF (ICMBio/MMA, 2022).

Dentro do roteiro ele trabalham com conceitos que auxiliam no emprego das metodologias, sendo essas:

Tabela 3: Conceitos utilizados na elaboração do Roteiro para MIF.

Combate	Conjunto de atividades relacionadas à supressão de incêndios, compreendendo as fases de detecção, reconhecimento, primeiro ataque, controle, extinção, vigilância e desmobilização.
Ecossistemas sensíveis ao fogo	Refere-se a ambiente que não evoluíram com o fogo, e por isso as espécies não são adaptadas.
Ecossistemas dependentes do fogo	Ambientes em que o fogo é essencial para manutenção dos processos ecológicos, com espécies adaptadas a responder positivamente ao fogo.

Eossistemas influenciados pelo fogo	Geralmente são zonas de transição entre os dois ecossistemas anteriores, incluindo um tipo amplo de vegetação.
Incêndio	Qualquer fogo não planejado, indesejado e descontrolado sobre a vegetação natural ou plantada.
Janela de queima	Período mais favorável para uso do fogo, definido com base em condições meteorológicas, de combustíveis e outros indicativos ambientais.
Manejo Integrado do Fogo (MIF)	Abordagem de gestão adaptativa do fogo que integra saberes tradicionais, científicos e técnicos para planejamento e tomada de decisão, considerando a interação dos aspectos ecológicos, socioculturais e econômicos do território.
Prevenção	Medidas continuadas, educativas e de manejo, realizadas previamente com o objetivo de reduzir a ocorrência de incêndios florestais.
Queima Controlada	Aplicação planejada do fogo como prática agropastoril ou florestal, sob condições ambientais definidas na janela de queima, em áreas com limites físicos previamente definidos e com o comportamento de fogo desejado.
Queima Prescrita	Aplicação planejada do fogo com objetivos conservacionistas de manejo da unidade de conservação, sob condições ambientais definidas na janela de queima, podendo resultar na formação de mosaicos de áreas queimadas.
Regime do Fogo	Padrão espacial e temporal de sazonalidade, de intensidade, de frequência, de extensão e de severidade na ocorrência do fogo em determinada localidade

Fonte: Elaboração com base em ICMBio/MMA, 2022.

Com base nos conceitos desenvolvidos pelo ICMBio, inicia-se a elaboração do Roteiro de Planejamento do PMIF, a partir da criação da ficha técnica da Unidade de Conservação (UC). Nessa etapa, deve-se considerar a legislação específica do território, bem como realizar a contextualização e a análise situacional. Informações detalhadas sobre esses elementos podem ser encontradas em ICMBio (2022).

É fundamental levantar questões relacionadas aos recursos e valores fundamentais da UC, analisando sua tolerância, dependência ou sensibilidade à passagem do fogo. Além disso, devem ser coletadas informações geográficas com base no zoneamento da área. Nos locais onde serão realizadas queimas controladas, é necessário agendar uma visita técnica para avaliação *in loco* ICMBio (2022).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

O relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2023 abordou a influência humana nas mudanças climáticas, afetando a atmosfera, o oceano e a terra. Segundo os dados, a influência humana foi o principal fator impulsionador de eventos como o aumento do nível médio global do mar (cerca de 0,20 m entre os anos de 1901 e 2018) e mudanças extremas, como ondas de calor, precipitação intensa, secas e ciclones tropicais. O relatório defende que a influência humana aumentou a ocorrência de eventos extremos compostos desde 1950.

Entre os anos de 2010 e 2020, a mortalidade humana por inundações, secas e tempestades foi 15 vezes maior em regiões altamente vulneráveis, em comparação com regiões de baixa vulnerabilidade (IPCC, 2023). As projeções indicam que eventos como ondas de calor e secas se tornarão mais frequentes, inclusive ocorrendo simultaneamente em vários locais. A emissão de CO₂, resultando no aumento da temperatura, consequentemente ocasiona o aumento dos incêndios florestais, a mortalidade em massa de árvores, a secagem de turfeiras e o degelo do permafrost (IPCC, 2023). Nesse contexto, as mudanças climáticas tornaram-se um tema na formulação de políticas públicas.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) emergem como um caminho que resulta de processos complexos que levaram à definição do desenvolvimento sustentável como uma missão civilizatória para a comunidade internacional no século XXI (Menezes, 2019). Os ODS constituem um plano de ação voltado para as pessoas e o planeta, englobando três dimensões - econômica, social e ambiental - de forma integrada, por meio de parcerias entre todos os países (Moreira, 2019). A visão e os princípios que orientaram os países na elaboração da Agenda 2030 reconhecem a ameaça global da degradação dos recursos naturais, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas, cujos impactos enfraquecem a capacidade de alcançar o desenvolvimento sustentável.

A relação entre incêndios florestais e mudanças climáticas é bidirecional. Por um lado, os incêndios florestais contribuem para as mudanças climáticas ao liberar carbono armazenado na atmosfera, emitindo gases de efeito estufa e alterando os ecossistemas (IPCC, 2013). Por outro lado, as mudanças climáticas criam condições que favorecem os incêndios florestais, por meio do aumento da temperatura, da seca e da maior incidência de raios. Dessa forma, estabelece-se um ciclo de retroalimentação, em que as mudanças climáticas são agravadas pelos incêndios florestais, acelerando o aquecimento global (Dehar et al., 2025). Como consequência, os incêndios florestais podem modificar os ecossistemas, tornando-os mais vulneráveis a futuros incêndios e impactos ambientais ((Hansen et al., 2013).

Zhang et al. (2024) mencionam que os incêndios florestais têm grande impacto na atmosfera, na superfície terrestre e no oceano. Segundo um estudo conduzido pela *Global Forest Watch* (GFW), os incêndios estão devastando o dobro de florestas em comparação com a virada do século.

METODOLOGIAS PARA MODELAGEM

Fonseca (2024), a partir de uma reflexão baseada em Cassirer (1994) argumenta que o ser humano desenvolveu a capacidade de criar e utilizar símbolos para compreender e interagir com o mundo. Nesse contexto, o paradigma ambiental tem ganhado crescente aceitação, sendo amplamente debatido e refletido pela sociedade. Esse paradigma se fundamenta em uma visão sistêmica, dinâmica e integrada da realidade, que valoriza a interconectividade e a interdisciplinaridade. Para estudar o ambiente por meio de um modelo, tende a procurar inter-relações entre os elementos sociais e naturais, em uma perspectiva abstrata que permita captar a dinâmica de fluxo de energia e matéria (Christofolletti, 1999).

A necessidade de prever cenários futuros de ambientes propensos a incêndios provocou os desenvolvimentos de vários modelos de previsão (Das et al., 2023), que se concentram em explicar padrões espaço-temporais que relacionam diferentes componentes, como topografia, clima, biofísica e perturbações com a ignição de incêndios florestais (Boubeta et al., 2015).

O mapa de risco de incêndio é feito com base nas informações geográficas da área de estudo, combinadas com ferramentas e métodos avançados (Zhao et al., 2021). Com o aumento do poder de processamento computacional, houve avanços nos estudos das modelagens de risco, que são capazes de encontrar uma estrutura de rede ideal em um sistema de previsão (Lopes, 2019).

As modelagens de risco apresentam diversas abordagens, e nessa conjuntura Fernandes et al. (2018) e Lopes, (2019) realizam uma revisão e comparação entre alguns métodos, entre alguns métodos, dentre elas: Análise Multicritério (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais.

O processo de hierarquia analítica foi desenvolvido por Saaty (1970), é uma abordagem que possui três características valiosas que auxiliam na tomada de decisão. A decomposição, avaliação e pôr fim a síntese (Schmoldt et al., 2001). Em outras palavras, o AHP estabelece uma hierarquia de decisão, classificando os elementos de um nível mais alto para mais baixo (decomposição), em seguida, elabora-se a matriz de comparação para a definição dos pesos atribuídos a cada variável (avaliação), por último calcula-se a Relação de Consistência (RC) a fim de verificar se o processo foi bem-sucedido (síntese) (Fernandes et al., 2018).

A Lógica Fuzzy constitui um modelo matemático baseado na noção de que os fenômenos do mundo real não são, em sua maioria, caracterizados por limites rígidos, ela foi introduzida por Zadeh em 1965. Diferentemente da lógica clássica, em que a associação de um elemento a um conjunto é binária (pertence ou não pertence), na Lógica Fuzzy a pertinência é expressa por valores dentro do intervalo [0,1], sendo 0 a completa não pertinência, 1 a total pertinência e os valores intermediários representando graus parciais de associação (Marro et al., 2010).

As Redes Neurais Artificiais foi criada por Haykin (2001), que parte do princípio de que o cérebro é um *computador* (sistema de processamento de informação) altamente *complexo, não-linear e paralelo*. Tendo

a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, conhecidos por neurônios, de forma a realizar certos processamentos, como reconhecer padrões, e ter percepções (Haykin, 2001). Usando da aprendizagem de rede para o processo em que o conhecimento é adquirido e armazenado.

Na literatura sobre as RNAs, existe uma variedade de modelos desenvolvidos com base em diferentes estruturas de rede, também chamadas de arquiteturas (Lopes, 2019). Essas são definidas pela organização de seus componentes e suas camadas, nas mais convencionais, as camadas da rede se dividem em: camada de entrada, camadas intermediárias e camada de saída (Souza, 2023).

Além das metodologias revisadas e comparadas por Fernandes et al. (2018) e Lopes (2019), há uma diversidade ainda maior de modelos disponíveis. A modelagem tem se consolidado como uma ferramenta essencial para a extrapolação espacial de resultados, permitindo a caracterização de cenários futuros (Fonseca, 2024). No campo da Geografia Física, destaca-se não apenas como um objetivo em si, mas como um instrumento analítico fundamental para a previsão de comportamentos em diferentes escalas temporais (Fernandes, 2016).

Nesse contexto, é imprescindível que o geógrafo compreenda a modelagem como uma etapa intermediária no processo de investigação, e não como um ponto final (Fernandes, 2016). Os modelos devem ser encarados como construções dinâmicas, passíveis de revisões e aprimoramentos contínuos, à medida que o conhecimento científico avança, novas técnicas são incorporadas e hipóteses são reformuladas (Fonseca, 2024).

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T.; WILLIAMS, A. P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>.
- ADGER, W. N. Vulnerability. Global Environmental Change, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, v. 16, p. 268–281, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.
- ALCÂNTARA, V. D. S. de; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. Metodologia para análise da vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso na macrorregião da Costa Verde. Revista Brasileira de Cartografia, v. 65, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv65n3-44805>.
- ALMEIDA-FILHO, N. D.; COUTINHO, D. Causalidade, contingência, complexidade: o futuro do conceito de risco. Physis, v. 17, p. 95–137, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-73312007000100007>.
- ALVES, D.; ALMEIDA, M.; VIEGAS, D. X. Meteorologia e incêndios florestais. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47907/Incendios/ProtecaoAmbienta/AlteracoesClimaticas/2023/4>.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2017.
- ASMAR, R. E.; TANNER, D. J.; HU, Y.; O'NEILL, S.; HUEY, L. G.; ODMAN, M. T.; WEBER, R. J. ACP - A multi-site passive approach to studying the emissions and evolution of smoke from prescribed fires. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/acp-24-12749-2024>.

- ASSUNÇÃO, S. G. S.; MIZIARA, F. Sistemas peritos e atores sociais na análise de risco ambiental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, p. 15–26, 2009.
- BAKER, G.; WEBB, A.; WHITING, P. Regulatory controls for buildings in wildfire-prone areas of Australia. *Fire Technology*, v. 56, p. 1903–1935, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00999-7>.
- BARRADAS, A. C. S.; RIBEIRO, K. T. Integrated fire management: Serra Geral do Tocantins Ecological Station's journey (2001 to 2020). *Biodiversidade Brasileira*, v. 11, p. 139–152, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i2.1739>.
- BATISTA, E. K. L.; FIGUEIRA, J. E. C.; RODRIGUES, E. L.; GARCÍA-CALVO, R. P.; FERNANDES, G. W. A. Escrito nas cinzas: lições aprendidas no Cerrado brasileiro e no Chaparral californiano. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.
- BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais). *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 1 ago. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm.
- BELLO, J. P.; FREITAS, A. C. V.; VIEIRA, E. M. Uma análise do risco de fogo para o bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 32, p. 734–759, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16693>.
- BENTO-GONÇALVES, A. Os (grandes) incêndios florestais históricos em Portugal continental. *Cadernos de Geografia*, v. 50, p. 67–79, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.14195/0871-1623_50_5.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D. Fire and soils: key concepts and recent advances. *Geoderma, Fire Effects on Soil Properties*, v. 191, p. 3–13, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>.
- BENTO-GONÇALVES, A. Wildfires In The Anthropocene. In: *Green Marble 2022. Estudos Sobre o Antropoceno e Ecocrítica/ Studies On The Anthropocene And Ecocriticism*. Braga, 2022. DOI: 10.21814/1822.81362
- BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. L. Good fire, bad fire: it depends on who burns. *Flora*, v. 268, 151610, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151610>.
- BERLINCK, C. N.; LIMA, L. H. A. Implementação do manejo integrado do fogo em unidades de conservação federais no Brasil: resultados e perspectivas. *Biodiversidade Brasileira*, v. 11, p. 128–138, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i2.1709>.
- BERWIG, J. A.; ENGELMANN, W. O princípio da precaução: diretrizes para sua aplicação empírica. *Pensar – Revista de Ciências Jurídicas*, v. 28, p. 1–14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/2317-2150.2023.13019>.
- BOGARDI, J.; BRAUCH, H. G. Threats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. Bonn: UNU-EHS, 2005.
- BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; DOULA, S. M.; JACOVINE, L. A. G. Registro de ocorrência de incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, p. 247–263, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v1i2.108>.
- BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; DOULA, S. M.; JACOVINE, L. A. G. Registro de ocorrência de incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, p. 247–263, 2011b. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v1i2.108>.
- BORGES, K. M. R.; FILHO, J. C. O.; COAN, G. P. de O.; VASCONCELOS, T. M. M. Sensoriamento remoto e geoprocessamento como subsídio ao manejo do fogo e ao combate aos incêndios florestais em unidades de conservação federais. *Biodiversidade Brasileira*, v. 11, 2021.
- BOUBETA, M.; LOMBARDÍA, M. J.; MAREY-PÉREZ, M. F.; MORALES, D. Prediction of forest fires occurrences with area-level Poisson mixed models. *Journal of Environmental Management*, v. 154, p. 151–158, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.009>.

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; VAN DER WERF, G. R.; PYNE, S. J. Fire in the Earth system. *Science*, v. 324, p. 481–484, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1163886>.

CALVIN, K.; DASGUPTA, D.; KRINNER, G.; MUKHERJI, A.; THORNE, P. W.; TRISOS, C.; ROMERO, J.; ALDUNCE, P.; BARRETT, K.; BLANCO, G.; CHEUNG, W. W. L.; CONNORS, S.; DENTON, F.; DIONGUE-NIANG, A.; DODMAN, D.; GARSCHAGEN, M.; GEDEN, O.; HAYWARD, B.; JONES, C.; JOTZO, F.; KRUG, T.; LASCO, R.; LEE, Y.-Y.; MASSON-DELMOTTE, V.; MEINSHAUSEN, M.; MINTENBECK, K.; MOKSSIT, A.; OTTO, F. E. L.; PATHAK, M.; PIRANI, A.; POLOCZANSKA, E.; PÖRTNER, H.-O.; REVI, A.; ROBERTS, D. C.; ROY, J.; RUANE, A. C.; SKEA, J.; SHUKLA, P. R.; SLADE, R.; SLANGEN, A.; SOKONA, Y.; SÖRENSSEN, A. A.; TIGNOR, M.; VAN VUUREN, D.; WEI, Y.-M.; WINKLER, H.; ZHAI, P.; ZOMMERS, Z.; HOURCADE, J.-C.; JOHNSON, F. X.; PACHAURI, S.; SIMPSON, N. P.; SINGH, C.; THOMAS, A.; TOTIN, E.; ARIAS, P.; BUSTAMANTE, M.; ELGIZOULI, I.; FLATO, G.; HOWDEN, M.; MÉNDEZ-VALLEJO, C.; PEREIRA, J. J.; PICHES-MADRUGA, R.; ROSE, S. K.; SAHEB, Y.; SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, R.; ÜRGE-VORSATZ, D.; XIAO, C.; YASSAA, N.; ALEGRÍA, A.; ARMOUR, K.; BEDNAR-FRIEDL, B.; BLOK, K.; CISSÉ, G.; DENTENER, F.; ERIKSEN, S.; FISCHER, E.; GARNER, G.; GUIVARCH, C.; HAASNOOT, M.; HANSEN, G.; HAUSER, M.; HAWKINS, E.; HERMANS, T.; KOPP, R.; LEPRINCE-RINGUET, N.; LEWIS, J.; LEY, D.; LUDDEN, C.; NIAMIR, L.; NICHOLLS, Z.; SOME, S.; SZOPA, S.; TREWIN, B.; VAN DER WIJST, K.-I.; WINTER, G.; WITTING, M.; BIRT, A.; HA, M.; ROMERO, J.; KIM, J.; HAITES, E. F.; JUNG, Y.; STAVINS, R.; BIRT, A.; HA, M.; ORENDAIN, D. J. A.; IGNON, L.; PARK, S.; PARK, Y.; REISINGER, A.; CAMMARAMO, D.; FISCHLIN, A.; FUGLESTVEDT, J. S.; HANSEN, G.; LUDDEN, C.; MASSON-DELMOTTE, V.; MATTHEWS, J. B. R.; MINTENBECK, K.; PIRANI, A.; POLOCZANSKA, E.; LEPRINCE-RINGUET, N.; PÉAN, C. IPCC, 2023: Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: LEE, H.; ROMERO, J. (eds.). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

CASSINO, R. F.; LEDRU, M.-P.; SANTOS, R. de A.; FAVIER, C. Vegetation and fire variability in the central Cerrados (Brazil) during the Pleistocene-Holocene transition was influenced by oscillations in the SASM boundary belt. *Quaternary Science Reviews*, v. 232, 106209, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106209>.

Cochrane, M.A., Ryan, K.C. (2009). Fire and fire ecology: Concepts and principles. In: Tropical Fire Ecology. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_2

COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 1, p. 17–23, 1978.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, p. 13–23, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100002>.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos. Junho de 2001.

DA SILVA ARRUDA, V. L.; ALENCAR, A. A. C.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; DE FIGUEIREDO RIBEIRO, F.; DE ARRUDA, F. V.; CONCIANI, D. E.; DA SILVA, W. V.; SHIMBO, J. Z. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). *Fire Ecology*, v. 20, p. 64, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00298-4>.

DAGNINO, R. de S.; JUNIOR, S. C. Risco ambiental: conceitos e aplicações. *CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 2, 2007.

DAS, J.; MAHATO, S.; JOSHI, P. K.; LIOU, Y.-A. Forest fire susceptibility zonation in Eastern India using statistical and weighted modelling approaches. *Remote Sens.* **2023**, 15, 1340. <https://doi.org/10.3390/rs15051340>

DEHAR, P.; SINHA, M. K.; MOHANTY, D.; KUMAR, N.; SUPRIYA DEVI, R.; KUMAR, S. Forest fire and climate change: a global prospect, p. 51–59, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15054968>.

DIAS, M. G. A gestão de combustíveis na redução dos fogos florestais na paisagem. Universidade de Lisboa, 2023.
ENKHTAIVAN, U.; ODKHUU, U.; BAZARVAANI, S. The fire risk analysis of Mongolia. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, 2025b. Disponível em: [https://doi.org/10.31435/ijitss.1\(45\).2025.3127](https://doi.org/10.31435/ijitss.1(45).2025.3127).

EUROPEAN glossary for wildfires and forest fires. Europeiska Unionen (EU). 2012. Disponível em: <https://rib.msb.se/bib/Search/Document?id=26885>

- FAUGÈRES, L. *La dimension des faits et la théorie du risque: le risque et la crise*. Malta: Fundation for International Studies, 1990.
- FÉLIX, A. C. T.; FONTGALLAND, I. L. Protected areas in Brazil and in the world: general picture of its implementation. *Research, Society and Development*, v. 10, e187101219970, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19970>.
- FERNANDES, L. C. . **Modelagem de risco de incêndios florestais utilizando redes neurais artificiais aplicada às regiões metropolitanas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/33835>.
- FERNANDES, L. C.; NERO, M. A.; TEMBA, P.; FILHO, B. S. S. Modelagem de risco de incêndios florestais: uma visão geral. *[S.l.: s.n.]*, v. 13, p. 79–83, 2018.
- FERNANDES, M. do C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M. de; AVELAR, A. de S. Avaliação geocológica de suscetibilidade à ocorrência de incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2011.050>.
- FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: teoria, potencialidades e desafios. *Espaço Aberto*, v. 6, p. 209–247, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5243>.
- FERRAZ-VICENTINI, K. R.; SALGADO-LABOURIAU, M. L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 9, p. 207–219, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(96\)00007-7](https://doi.org/10.1016/0895-9811(96)00007-7).
- FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. The year 2017: megafires and management in the Cerrado. *Fire*, v. 1, p. 49, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fire1030049>
- FOLHARINI, S.; VIEIRA, A.; BENTO-GONÇALVES, A.; SILVA, S.; MARQUES, T.; NOVAIS, J. Bibliometric Analysis on Wildfires and Protected Areas. *Sustainability*, 2023.
- FONSECA, E. Erosão de solo em ambiente amazônico: aplicações de modelagens preditivas, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24824/9782515948.5>.
- FRANCO, J. L. de A.; SCHITTINI, G. de M.; BRAZ, V. da S. História da conservação da natureza e das áreas protegidas: panorama geral. *Historiæ*, v. 6, p. 233–270, 2015.
- FÜSSEL, H. M.; KLEIN, R. J. T. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. 2006.
- GADELHA, D. P.; CARVALHO, T. K. N.; LUCENA, R. F. P. D. Adaptação do Índice de Vulnerabilidade Sócio-Climática (ISVC) em uma comunidade rural do semiárido do Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, p. 567–575, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081837](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081837).
- GANTUS-OLIVEIRA, T. Cidades resilientes e a disputa sobre o discurso da agenda de redução de riscos e desastres. *GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)*, v. 27, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2023.200724>.
- GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, p. 71–83, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273>.
- GOLDAMMER, J. G. Use of prescribed fire in land management, nature conservation and forestry in temperate-boreal Eurasia, 2015.
- GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; DA SILVA, L. A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>.
- GUIMARÃES, V. M. B.; CORTE, T. D. Da vulnerabilidade ambiental à vulnerabilidade ecológica: a transição de paradigmas. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, v. 21, e212698, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2698>.
- GUIVANT, J. S. A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre o diagnóstico e a profecia. *Estudos Sociedade e Agricultura*, 2001.
- HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue, 2005.
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.

HOFFMAN, W. A. et al. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>.

HOFFMANN, W. A.; SCHROEDER, W.; JACKSON, R. B. Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 108, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2003JD003494>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Technical Summary. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_TechnicalSummary.pdf.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T. F. et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). *Biodiversidade Brasileira*, v. 9, n. 1, 2019. Edição especial: Wildfire Conference – Resumos. Disponível em: <https://icmbio.openjournalsolutions.com.br/index.php/BioBR/issue/view/65/8>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Plano de Manejo Integrado do Fogo: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Brasília: ICMBio, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/planos-de-manejo-integrado-do-fogo/PMIF_ESEC_Serra_Geral_do_Tocantins.pdf.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Roteiro para Elaboração do Plano de Manejo Integrado do Fogo das Unidades de Conservação Federais. Brasília: ICMBio, 2022. Disponível em: https://ava.icmbio.gov.br/pluginfile.php/4592/mod_data/content/23709/Roteiro%20para%20Elabora%C3%A7%C3%A3o%20do%20Plano%20de%20Manejo%20Integrado%20do%20Fogo.2022.pdf.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 31000:2018 – Risk management: Guidelines. [S.l.]: ISO, [20--]. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). IUCN Red List of Threatened Species. 2008. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/resources/vie2009>. Acesso em: 12 abr. 2025.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. da C.; ALVES, D. S.; FERREIRA, L. da C. Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar. [S.l.: s.n.], 2016.

JOLLY, W. M. et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, v. 6, n. 7537, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>.

JUNIOR, J. A. S.; PACHECO, A. da P. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. *Ciência Florestal*, v. 31, p. 417–439, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509843818>.

LINDOSO, D. P. et al. Climate Change and Vulnerability to Drought in the Semi-arid: the Case of Smallholder Farmers in the Brazilian Northeast. Brasília: Ipea, 2011.

LOPES, G. P. Previsão de vendas em alta frequência do varejo brasileiro: um estudo comparativo entre modelos tradicionais e redes neurais artificiais. São Paulo, 2019.

LOURENÇO, L.; ALMEIDA, A.B. de. Alguns conceitos à luz da teoria do risco. Coimbra, 2018.

LOURENÇO, L.; AMARO, A. Riscos e crises: da teoria à plena manifestação, 2018.

LOURENÇO, L.; DIAS. Madeira Região Resiliente. Aprender com o Passado, 2020.

- MANYENA, S. B. The concept of resilience revisited. *Disasters*, v. 30, p. 434–450, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>.
- MARANDOLA, E. J. Uma ontologia geográfica dos riscos: duas escalas, três dimensões, 2004.
- MARQUES, S. et al. Characterization of wildfires in Portugal. *European Journal of Forest Research*, v. 130, p. 775–784, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0470-4>.
- MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. de C.; CAVALCANTE, E. R. de S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. de O. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações, 2010.
- MATRICARDI, E. A. T. et al. Dinâmica no uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2016. *Nativa*, v. 7, p. 547–555, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7391>.
- MCCLURE, C. D.; JAFFE, D. A. US particulate matter air quality improves except in wildfire-prone areas, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1804353115>.
- MENEZES, H. Z. de. Os objetivos de desenvolvimento sustentável e as relações internacionais. João Pessoa: Editora UFPB, 2019.
- MITCHELL, B. A. et al. Diretrizes para áreas sob proteção privada, 2023.
- MONDRAGÓN, C. Los incendios de 2019-2020 en Australia. *Anuario Asia Pacífico El Colegio de México*, p. 1–33, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24201/aap.2021.318>.
- MUÑOZ, R. V. Cambio global e incendios forestales: perspectivas en la Europa Meridional. *Recursos Rurais*, p. 49–54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15304/r.r.id5302>.
- NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. *TER*, p. 25–35, 2001. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_8_3.
- NASH, R. F. *Wilderness and the American Mind*. Cambridge, UK; New York, 2014.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.
- PECHORRO, J. A. L. Fatores críticos no socorro em acidentes rodoviários: o caso do distrito da Guarda, 2013.
- PELLING, M. The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience. *Environmental Sciences*, v. 2, p. 463–464, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/15693430500111884>.
- PIRASTEH, S.; FANG, Y.; MAFI-GHOLAMI, D.; ABULIBDEH, A.; NOURI-KAMARI, A.; KHONSARI, N. Enhancing vulnerability assessment through spatially explicit modeling of mountain social-ecological systems exposed to multiple environmental hazards. *Science of The Total Environment*, v. 930, p. 172744, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172744>.
- PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, p. 233–255, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>.
- RAMALHO, A. H. C. et al. Zoneamento de Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais - Passo a Passo, 2021a.
- RAMALHO, A. H. C. et al. Compreendendo a ação do fogo nos ecossistemas brasileiros. *Biodiversidade Brasileira*, v. 14, p. 8–25, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i1.2180>.
- RAMALHO, A. H. C.; SANTOS, A. R. dos; FIEDLER, N. C.; BIAZATTI, L. D. Zoneamento de Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais - Passo a Passo, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.36599/anth-2021.0001>.
- REBELO, F. Riscos naturais e ação antrópica: estudos e reflexões. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2001.
- REBELO, F. A teoria do risco analisada sob uma perspectiva geográfica, p. 3–13, 1999.
- REGO, F.; RIGOLOT, E.; FERNANDES, P.; MONTIEL, C.; SILVA, J. S. Towards Integrated Fire Management. European Forest Institute, 2010.

- RODRÍGUEZ, J. de J. N. et al. Representations of Colombian Andean farmers on climate change and mitigation and adaptation strategies. 2021.
- ROTHERMEL, R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. US Forest Service Research and Development, 1972.
- ROY, S. et al. Multi-pressure based environmental vulnerability assessment in a coastal area of Bangladesh: A case study on Cox's Bazar. *Geomatica*, v. 76, p. 100030, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100030>.
- RUSSELL-SMITH, J. et al. Market-based Options for Supporting Sustainable Fire Management of Fire-prone Cerrado (Savanna) Remnant Landscapes. *Biodiversidade Brasileira*, v. 11, p. 153–167, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i2.1725>.
- RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Unidades de conservação brasileiras. *Megadiversidade*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 27-35, jul. 2005.
- SAMPAIO, G.; SILVA DIAS, P. L. da. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. *Revista USP*, v. 103, p. 41–54, 2014.
- SANTOS, S. M. B. dos; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; TEIXEIRA, G. Grandes incêndios florestais no noroeste de Portugal: explorando padrões espaciais entre 2001 e 2020, com base em dados Landsat, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-68265>.
- SANTOS, S. M. B. dos; FRANCA-ROCHA, W. de J. S. BENTO-GONÇALVES, A. J.; BAPTISTA, G. M. de M. Quantificação e avaliação dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina e entorno no período de 2007 a 2016. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n4-44329>.
- SCHILLING, J.; VIVEKANANDA, L.; KHAN, M. A.; PANDEY, N. Vulnerability to environmental risks and effects on community resilience in mid-west Nepal and south-east Pakistan. *Environmental Natural Resources Journal*, v. 3, n. 4, p. 27, 2013.
- SCHMOLDT, D. L.; KANGAS, J.; MENDOZA, G. A.; PESONEN, M. (Eds.) The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making, Managing Forest Ecosystems. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9>.
- SILVA, C. F. C.; SER-RA, G.; PAROLA, J.; REIS, J.; LOURENÇO, L.; CORREIA, S. Combate a incêndios florestais. 3. ed., revista e atualizada. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, dez. 2006 (Manual de Formação Inicial do Bombeiro, vol. XIII). ISBN 972-8792-24-7.
- SILVA, P. S. et al. Drivers of burned area patterns in Cerrado: the case of Matopiba region, 2020.
- SIMÕES, J.; GOMES, L.; ALVES SANTOS, D. C. Jean Tricart e os caminhos metodológicos para a Geografia Física. *Geopauta*, v. 7, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22481/rq.v7.e2023.e12788>.
- SOUZA, K. R. G.; LOURENÇO, L. A evolução do conceito de risco à luz das ciências naturais e sociais. *Territorium*, p. 31–44, 2015. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_1.
- SOUZA, V. S. S. Introdução à interpretabilidade de redes neurais convolucionais, 2023.
- SPINK, M. J. P. Suor, arranhões e diamantes: as contradições dos riscos na modernidade reflexiva. *Athena Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social*, v. 19, p. 2501, 2019.
- TRICART, Jean. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). 2016 UNDP-GEF Annual Performance Report. New York: UNDP, 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/2016%20APR%20UNDP-GEF%20final.pdf>.
- UNISDR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate*. Geneva, Switzerland: UNISDR, 2009.
- UNISDR terminology on disaster risk reduction | UNDRR [Documento online], 2009. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>.

VELDMAN, J. W. et al. Where Tree Planting and Forest Expansion are Bad for Biodiversity and Ecosystem Services. *BioScience*, 2015. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv118>.

VERDE, J.; ZÊZERE, J.L. Avaliação da perigosidade de incêndio florestal, 2007.

VEYRET, Y. (Org.). *Os riscos. O homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Tradução de Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007. 320 p.

WILDLAND FIRE MANAGEMENT – Handbook for Trainers. Rome. 2010. Disponível: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/700ab9fe-80f9-442d-8dec-209c5e27a947/content>

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2. ed. London: Routledge, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. World Weather Information Service. Disponível em: <https://worldweather.wmo.int/pt/home.html>.

ZANIRATO, S. H. Resenha: Os riscos: paradoxos das sociedades ocidentais contemporâneas. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 100, p. 155–158, 2018. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/723/606>.

ZHAO, P.; ZHANG, F.; LIN, H.; XU, S. GIS-Based Forest Fire Risk Model: A Case Study in Laoshan National Forest Park, Nanjing. *Remote Sensing*, v. 13, p. 3704, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs13183704>.