

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Instituto Politécnico do Rio de Janeiro

Gustavo de Souza Curty  
202110049111  
Lorena  
2021...

Estudo de Propagação de Incêndios Florestais: Uma Análise  
Comparativa entre Modelos Baseados em Grafos e Equações  
Diferenciais  
Professor: Pedro Mineiro Cordoeira

Nova Friburgo, 2025

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>5</b>
2.1	Modelagem baseada em equações diferenciais . . . . .	5
2.2	Modelagem baseada em grafos . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Construção do Projeto</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Referências</b>	<b>7</b>

## Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre a propagação de incêndios florestais utilizando simulações baseadas em grafos, comparando os resultados com modelos clássicos de equações diferenciais. Inspirado no modelo IGN (Irregular Graph Network), propomos uma abordagem que considera a complexidade da paisagem e heterogeneidade do combustível. Resultados mostram que o modelo em grafo é capaz de capturar rotas de propagação com maior detalhe espacial e temporal, mantendo acurácia competitiva.

# 1 Introdução

Incêndios florestais são fenômenos complexos, capazes de provocar severos danos ambientais, sociais e econômicos. O estudo matemático de sua propagação é essencial para prever áreas vulneráveis, apoiar o planejamento preventivo e proteger vidas humanas.

Historicamente, diferentes técnicas foram empregadas, desde modelos baseados em equações diferenciais ordinárias (EDOs) até abordagens mais recentes com grafos e inteligência artificial, como o modelo IGN.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Modelagem baseada em equações diferenciais

Modelos diferenciais descrevem a variação temporal da área queimada considerando uma taxa média de propagação,  $R(t)$ , influenciada por fatores como umidade, tipo de combustível e inclinação do terreno:

$$\frac{dA}{dt} = R(t) \quad (1)$$

onde:

- $A(t)$ : área total queimada no instante  $t$ ;
- $R(t)$ : taxa de propagação do fogo.

Esses modelos são úteis para projeções gerais, mas apresentam limitações para detalhar caminhos específicos da propagação.

### 2.2 Modelagem baseada em grafos

Na abordagem por grafos, a vegetação é representada por um grafo  $G = (V, E)$ , onde:

- $V$ : nós representando áreas da vegetação;
- $E$ : arestas conectando nós vizinhos, levando em conta fatores como tipo de combustível e vento.

## 3 Metodologia

Foi implementado em Python uma simulação de propagação de incêndio usando uma malha 2D regular com  $20 \times 20$  nós. Cada nó pode estar em um dos estados:

- **Verde**: vegetação intacta;
- **Queimando**: em combustão;
- **Queimada**: já consumida pelo fogo.

A lógica segue passos discretos no tempo, onde nós em combustão podem propagar fogo para vizinhos verdes com probabilidade  $p = 0.4$ . O ponto inicial de ignição foi o nó central da malha.

Na simulação, foram coletadas métricas como:

- Total de nós queimados;
- Número de etapas até extinção completa do fogo.

## 4 Resultados

A Figura 1 mostra o estado final da malha após a simulação:

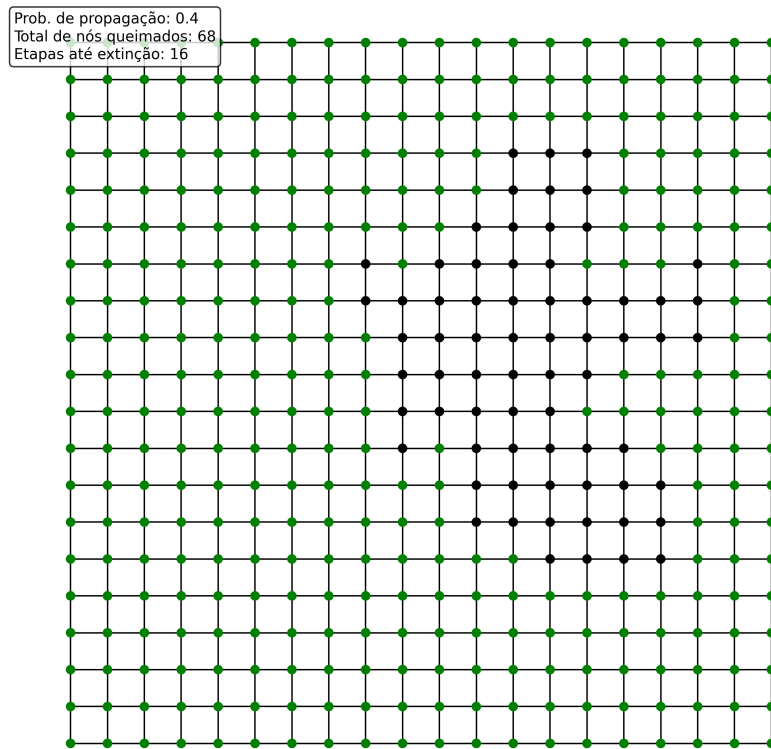


Figura 1: Estado final da malha. Probabilidade de propagação: 0.4; nós queimados: 68; etapas: 16.

Observa-se que nem todos os nós foram queimados, mesmo com uma probabilidade razoável, ilustrando o caráter estocástico da propagação.

## 5 Construção do Projeto

O projeto foi desenvolvido em **Python 3.10**. O repositório com o código completo encontra-se em:

<https://github.com/Gustavocurty/TrabDiscreta2.git>

Bibliotecas utilizadas:

- **networkx**: modelagem do grafo;
- **matplotlib**: visualização e geração de imagens;
- **numpy** e **random**: cálculos e sorteios aleatórios.

## 6 Conclusão

O uso de grafos permitiu representar rotas preferenciais do fogo e efeitos locais, oferecendo mais detalhes espaciais do que modelos diferenciais, que descrevem apenas médias gerais de propagação.

Enquanto modelos diferenciais são úteis para projeções globais, a modelagem por grafos mostra vantagens ao lidar com barreiras naturais, heterogeneidade da vegetação e análise de cenários específicos.

Estudos mais avançados, como o modelo IGN citado, reforçam que integrar redes complexas, aprendizado de máquina e dados reais pode resultar em previsões mais precisas e auxiliar diretamente na gestão de incêndios.

## 7 Referências

- Jiang, W., et al. (2022). *Modeling Wildfire Spread with an Irregular Graph Network*. Fire, 5(6), 185. <https://doi.org/10.3390/fire5060185>
- Rothermel, R. C. (1972). *A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels*. USDA Forest Service Research Paper INT-115.