



ENGENHARIA INFORMÁTICA

## Sistema multiagente para Simular a Propagação de incêndios florestais

David Gomes Fidalgo (nº 79881)

**Equipa de Orientação:** Prof. Eduardo Pires, Prof. Arsénio Reis, Prof. Paulo Oliveira, Prof. João Barroso

### Introdução

Os incêndios florestais são uma das principais ameaças ecológicas e socioeconómicas na Península Ibérica. Este trabalho apresenta um simulador multiagente que modela a propagação do fogo em células autónomas do terreno, integrando fatores como carga de combustível, relevo e condições meteorológicas para prever a evolução do incêndio em tempo quase real.



### Dados e Métodos

Foram usados três conjuntos de dados principais:

- Cartografia de uso do solo para classificar o combustível (ex: Corine Land Cover 2018).
- Modelo Digital do Terreno para obter declive e exposição.
- Perímetros oficiais de incêndios para calibração do simulador.

O modelo baseia-se numa matriz onde cada célula pode representar uma árvore viva, a arder ou queimada. Cada célula atualiza o seu estado conforme regras estabelecidas e influência dos agentes vizinhos, simulando a propagação do fogo condicionada pelo combustível, pelo declive, pelo vento e pelas fagulhas. A simulação é paralelizada com o OpenMP para garantir eficiência computacional.

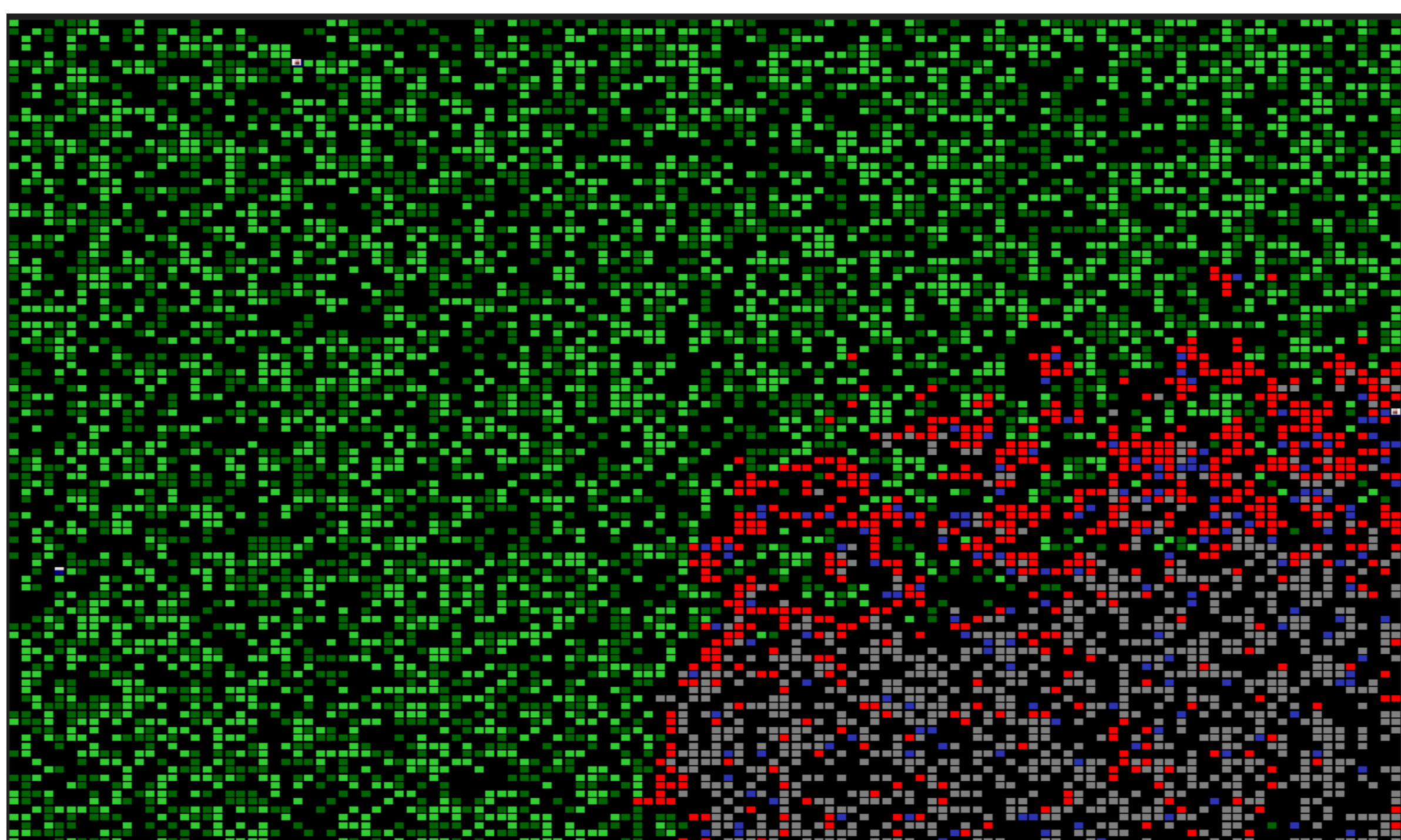


Figura 1- Simulação da Propagação de Incêndio

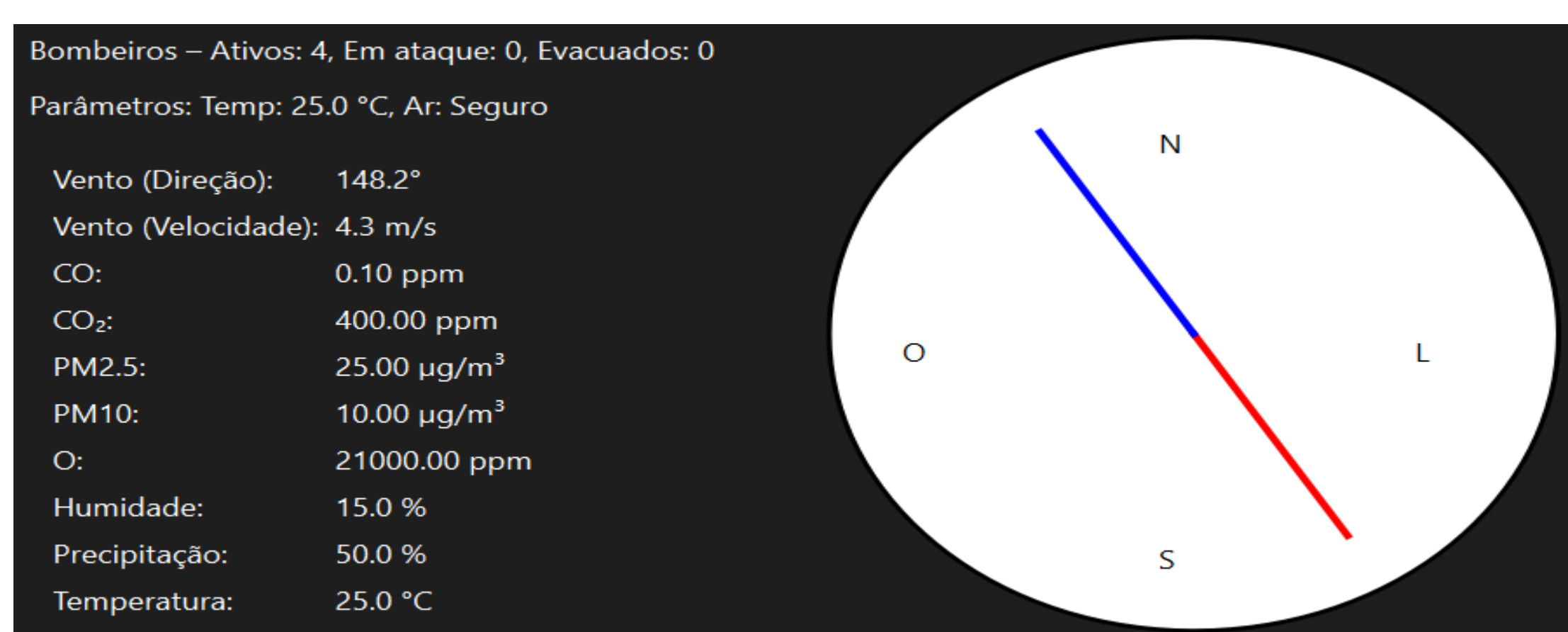


Figura 2 - Demonstração de valores na interface

### Resultados

O simulador demonstrou ser eficaz na reprodução da dinâmica da propagação de incêndios florestais. A área florestal queimada decresce rapidamente em condições de vento acima de 4 m/s, estabilizando conforme aumenta a humidade, correspondendo a padrões reais observados em cenários mediterrânicos. Durante as simulações, o modelo também capturou a variação da qualidade do ar, com aumentos proporcionais nos níveis de poluentes como CO e partículas finas (PM2.5 e PM10) à medida que a frente de fogo se intensificava, ilustrando o impacto ambiental associado.

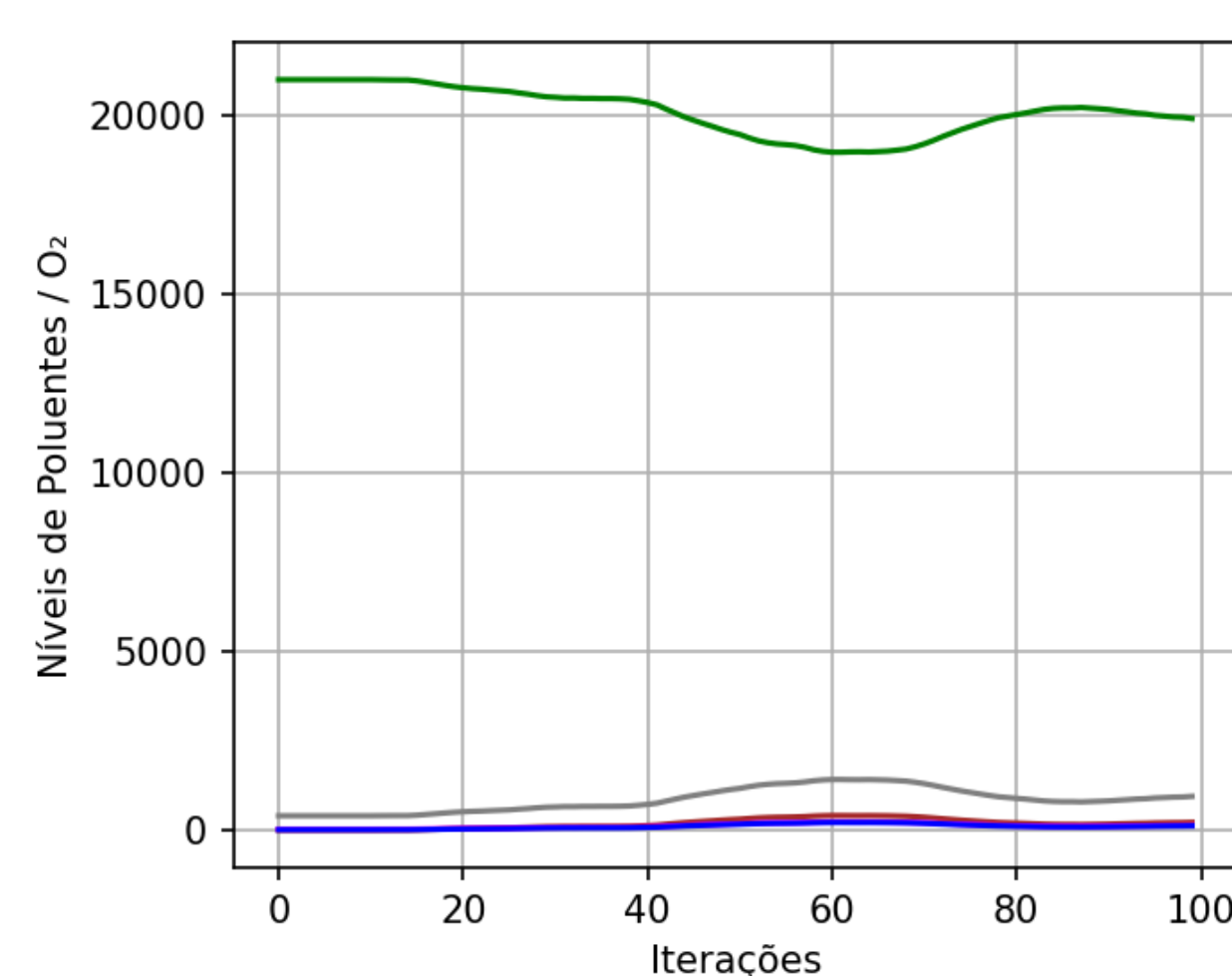


Figura 3 – Gráfico exemplo de variação do ar

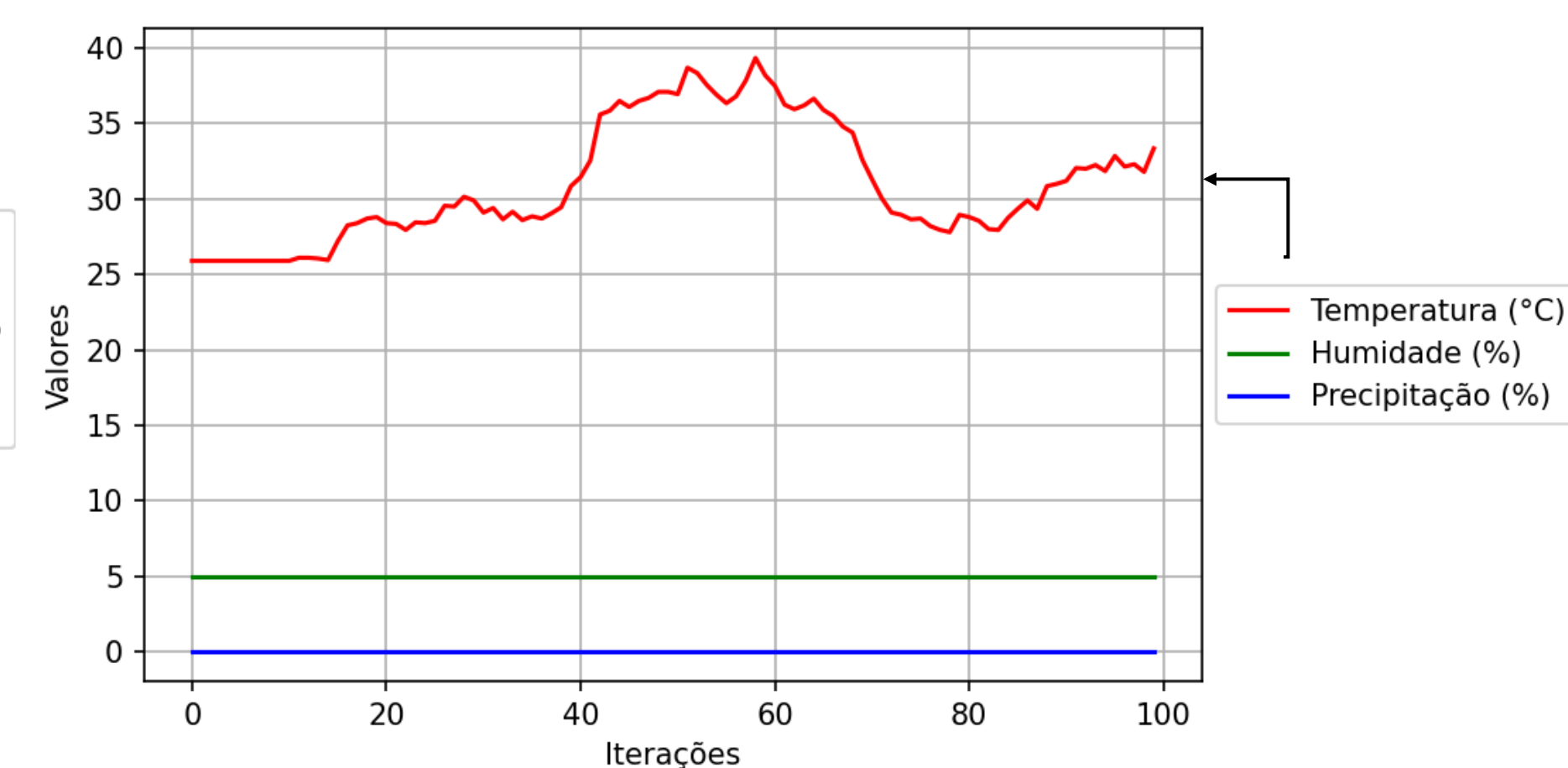


Figura 4 – Gráfico exemplo de variação da temperatura, humidade e probabilidade de precipitação

Em termos de precisão, a velocidade e direção da frente de fogo simulada apresentaram diferenças inferiores a 10 % e 20° respetivamente quando comparadas com perímetros oficiais de incêndios entre 2017 e 2024, mostrando a robustez do modelo. A execução paralelizada permitiu simular áreas na ordem dos 2 000 hectares em menos de 15 minutos num computador portátil de oito núcleos, evidenciando a viabilidade para apoio operacional quase em tempo real. Além disso, a interface gráfica forneceu visualizações em tempo real da evolução do fogo e das condições ambientais, facilitando a análise e tomada de decisões.

### Conclusão e Trabalho Futuro

- O simulador multiagente apresentou resultados consistentes na reprodução da propagação de incêndios florestais, com boa precisão na velocidade e direção da frente de fogo.
- A ferramenta mostrou-se eficiente para simular grandes áreas em tempo quase real, fornecendo uma interface intuitiva que facilita a monitorização e análise do fogo e seus impactos ambientais.
- No futuro, irá ser integrado dados meteorológicos em tempo real para aumentar a precisão da simulação, assim como incorporar modelos de humidade do combustível baseados em machine learning.
- Está também planeada a expansão do sistema para diferentes tipos de vegetação e cenários urbanos-florestais, além do desenvolvimento de módulos que estimem danos económicos e apoiem a decisão estratégica.