

# Minimax em Grafos com Sinais Simulação Estrutural da Guerra Fria

Projeto de Inteligência Artificial

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Modelagem Matemática</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Estrutura do Estado</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Geração de Sucessores</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Função de Avaliação</b>	<b>3</b>
5.1	Controle Territorial . . . . .	3
5.2	Coesão Estrutural . . . . .	3
5.3	Função Final . . . . .	3
<b>6</b>	<b>Algoritmo Minimax</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>Loop Principal do Jogo</b>	<b>3</b>
<b>8</b>	<b>Exemplo Real de Simulação</b>	<b>5</b>
<b>9</b>	<b>Análise Lúdica Fase a Fase</b>	<b>5</b>
<b>10</b>	<b>Interpretação Estrutural</b>	<b>6</b>
<b>11</b>	<b>Conclusão</b>	<b>6</b>

# 1 Introdução

Este trabalho modela um conflito geopolítico como um jogo adversarial de soma zero entre:

- EUA (MAX)
- URSS (MIN)

O território é representado por uma grade  $3 \times 3$ . Cada decisão representa uma jogada estratégica sob racionalidade adversarial.

O algoritmo Minimax escolhe ações assumindo que o oponente responderá da pior forma possível.

## 2 Modelagem Matemática

O território é definido como:

$$T \in \{E, U, .\}^{3 \times 3}$$

Cada célula representa uma região estratégica.

Definimos o grafo com sinais:

$$G = (V, A, \sigma)$$

Onde:

- $V$  = regiões
- $A$  = adjacências ortogonais
- $\sigma(i, j) \in \{-1, +1\}$

$$\sigma(i, j) = \begin{cases} +1 & \text{mesma potência} \\ -1 & \text{potências rivais} \end{cases}$$

Isso modela cooperação ou conflito estrutural.

## 3 Estrutura do Estado

---

**Algorithm 1** Estrutura do Estado

---

Estado:

tabuleiro[3][3]  
jogador<sub>atual</sub>  
profundidade

---

---

**Algorithm 2** Gerar Sucessores

---

```
for cada célula (i,j) do
  if célula vazia then
    criar novo estado com expansão
  end if
  if célula inimiga then
    if possui pelo menos 2 vizinhos aliados then
      criar novo estado com mudança de regime
    end if
  end if
end for
return lista de novos estados
```

---

## 4 Geração de Sucessores

Interpretação lúdica:

- Expansão = avanço diplomático
- Mudança de regime = desestabilização estratégica

## 5 Função de Avaliação

A utilidade combina domínio territorial e coesão estrutural.

### 5.1 Controle Territorial

$$C(s) = |V_{EUA}| - |V_{URSS}|$$

### 5.2 Coesão Estrutural

$$B(s) = \sum_{(i,j) \in A} \sigma(i,j)$$

### 5.3 Função Final

$$U(s) = C(s) + \alpha B(s)$$

O Minimax opera exclusivamente sobre  $U(s)$ .

## 6 Algoritmo Minimax

## 7 Loop Principal do Jogo

---

**Algorithm 3** Minimax

---

```
Minimax(estado, profundidade)
if estado terminal ou profundidade = 0 then
    return U(estado)
end if
if jogador = MAX then
    melhor  $\leftarrow$ 
    for cada sucessor do
        valor  $\leftarrow$  Minimax(s, profundidade1)
        melhor  $\leftarrow$  max(melhor, valor)
    end for
    return melhor
else
    pior  $\leftarrow$  +
    for cada sucessor do
        valor  $\leftarrow$  Minimax(s, profundidade1)
        pior  $\leftarrow$  min(pior, valor)
    end for
    return pior
end if
```

---

---

**Algorithm 4** Execução da Partida

---

```
estado  $\leftarrow$  inicial
while não terminal do
    jogada  $\leftarrow$  melhor_jogada(estado)
    estado  $\leftarrow$  aplicar(jogada)
end while
```

---

## 8 Exemplo Real de Simulação

Resultado obtido:

$$\begin{bmatrix} E & E & E \\ E & E & E \\ U & U & U \end{bmatrix}$$

Pontuação final:

$$U = 6 - 3 = 3$$

## 9 Análise Lúdica Fase a Fase

### Rodadas 1–3: Expansão Inicial

Ambas as potências ocupam regiões estratégicas vazias.

Interpretação:

- Formação inicial de zonas de influência
- Baixo conflito direto

### Rodadas 4–6: Consolidação

Regiões começam a formar blocos coesos.

- Aumenta coesão estrutural
- Cresce polarização

### Rodadas 7–9: Mudança de Regime

Aparecem capturas estratégicas.

- Conflito indireto
- Disputa por regiões cercadas
- Instabilidade estrutural local

### Rodadas 10–11: Formação de Blocos

Configuração final mostra separação territorial clara.

- Dois blocos consolidados
- Sistema polarizado
- Equilíbrio estrutural estável

## 10 Interpretação Estrutural

O grafo final apresenta:

- Alta coesão interna
- Conflito concentrado na fronteira
- Sistema estruturalmente balanceado

Isso reproduz um cenário clássico de Guerra Fria:

- Mundo bipolar
- Conflito indireto
- Estabilidade tensa

## 11 Conclusão

O modelo demonstra:

- Minimax avalia estados estruturais
- Grafos com sinais capturam estabilidade geopolítica
- A heurística combina território e coesão
- Conflitos estratégicos podem ser modelados formalmente

A integração entre teoria dos grafos e teoria dos jogos fornece uma abordagem matematicamente consistente e estrategicamente interpretável.