



Universidade de Coimbra  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
*Departamento de Engenharia Informática*

Introdução à Inteligência Artificial  
2015/2016 - 2º Semestre

Trabalho Prático Nº2: *Sokoban*

**Nota:** A fraude denota uma grave falta de ética e constitui um comportamento inadmissível num estudante do ensino superior e futuro profissional licenciado. Qualquer tentativa de fraude levará à anulação da componente prática tanto do facilitador como do prevaricador, independentemente de acções disciplinares adicionais a que haja lugar nos termos da legislação em vigor. Caso haja recurso a material não original as **fontes** devem estar explicitamente indicadas

# 1 Introdução

O “Sokoban” (zelador de armazém) é um jogo do estilo puzzle criado em 1981 por Hiroyuki Imabayashi, cuja versão original foi publicada em 1982 pela Thinking Rabbit. O objectivo do jogo é movimentar uma série de caixas para posições determinadas, obedecendo a um conjunto de regras:

- O jogador só se pode movimentar uma célula de cada vez na horizontal ou vertical (não são permitidos movimentos na diagonal);
- O jogador pode empurrar, mas não pode puxar caixas;
- Só pode mover uma caixa de cada vez;
- As caixas não podem ser sobrepostas (i.e. não pode haver duas caixas na mesma célula);
- O jogador não se pode sobrepor a caixas;
- As paredes são obstáculos intransponíveis tanto pelo jogador como por caixas;
- O jogo termina quando todas as caixas estão nas posições objectivo;

Na Figura 1 apresentam-se capturas de écran de níveis do jogo.

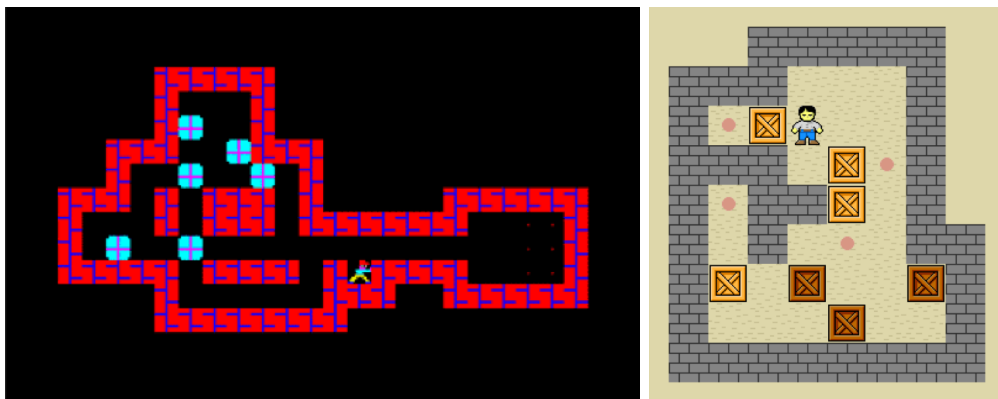


Figura 1: Capturas de écran de níveis de diferentes versões jogo.

## 2 Objectivos Genéricos

O presente trabalho prático tem como objectivos genéricos:

1. Aquisição de competências no que diz respeito a modelação de problemas como uma procura num espaço de estados;
2. Aquisição de competências ao nível do desenvolvimento de heurísticas adequadas para problemas específicos;
3. Implementação de diferentes algoritmos de procura;
4. Análise empírica e comparativa de diferentes algoritmos em termos de complexidade temporal e espacial;
5. Compreensão das forças, fraquezas e dificuldades inerentes às diferentes abordagens;

Estes objectivos genéricos serão alcançados através do trabalho em grupo e da experimentação, promovendo-se, assim, estas capacidades.

## 3 Enunciado

De forma genérica, pretende-se utilizar métodos de procura para encontrar soluções para níveis do Sokoban. Tal implica 3 passos fundamentais:

**Modelação** – O primeiro passo implica formular o problema exposto como um problema de procura. Tal implica encontrar respostas adequadas a uma série de questões: O que é um estado? Qual o estado inicial? Como se define um estado final? Quais são os operadores de mudança de estado? Qual a natureza da solução pretendida? Qual o custo associado a cada movimento? Que tipo de Heurísticas são aplicáveis?

**Implementação** – Deve implementar os algoritmos de pesquisa em profundidade limitada, aprofundamento progressivo, pesquisa sôfrega, A\*;

**Experimentação** – Deve conduzir um conjunto de testes empíricos comparando os algoritmos em termos de complexidade espacial e temporal;

O presente trabalho prático encontra-se dividido em 2 metas distintas:

1. Meta 1 – Modelação e Implementação
2. Meta Final – Refinamento e Experimentação

### 3.1 Meta 1 – Modelação e Implementação

O “Unity Package” disponibilizado já inclui a implementação do método de pesquisa em largura. Deve começar por analisar a implementação fornecida, e testar a mesma em diferentes mapas, de modo a compreender as opções de modelação e implementação tomadas.

Uma vez ultrapassada esta fase inicial deve implementar os métodos de pesquisa cega acima mencionados (pesquisa em profundidade limitada, aprofundamento progressivo), testando e validando as respectivas implementações.

O passo seguinte consiste na implementação dos métodos de pesquisa informada sugeridos (pesquisa sôfrega,  $A^*$ ). Para o efeito deve começar por desenvolver a seguinte heurística: a estimativa do custo de transitar de um estado  $s$  até ao estado final é igual ao número de caixas que não estão numa posição destino. Por outras palavras, está a assumir que será necessário um movimento para mover uma caixa mal posicionada para a uma posição destino.

Após o desenvolvimento da heurística deverá testar e validar a implementação dos métodos de procura informada mencionados.

### 3.2 Meta Final – Meta Refinamento e Experimentação

#### 3.2.1 Refinamento

A heurística acima mencionada é admissível, garantindo que o algoritmo  $A^*$  é completo e discriminador. No entanto, por ser uma heurística que subestima largamente o custo, o seu contributo para a melhoria da performance face a métodos cegos é reduzido.

O principal desafio desta etapa é o desenvolvimento de heurísticas que permitam melhorias de performance significativas face aos métodos cegos.

As heurísticas desenvolvidas devem ser devidamente explicadas no relatório, analisando a sua admissibilidade e ilustrando o seu funcionamento com exemplos.

#### 3.2.2 Experimentação

A etapa de experimentação e análise empírica dos resultados constitui uma componente **fundamental** deste trabalho prático que não pode ser descuidada. Nesta análise deve considerar todos os algoritmos disponibilizados e implementados (i.e. deve incluir a pesquisa em largura) e todas as variantes dos mesmos (i.e. deve conduzir experiências utilizando todas as heurísticas desenvolvidas). De forma sucinta deve:

- Considerar vários mapas com diferentes graus de complexidade;
- Analisar os diferentes algoritmos e variantes em termos de:
  - Sucesso/Fracasso** – i.e. se encontra ou não uma solução;
  - Discriminação** – i.e. se encontra ou não a solução mais económica;
  - Tempo** – O tempo que demora a encontrar a solução; Para evitar problemas relacionados com a recolha destes dados (ex. dependência da máquina) deve estimar o tempo através do número total de nós visitados;
  - Memória** – A memória necessária para efectuar a pesquisa; Deve ser estimado através da dimensão máxima alcançada pela lista de nós a expandir;
- Comparar os valores empíricos obtidos com os valores teóricos de complexidade temporal e espacial dos algoritmos em causa;

## 4 Datas e Modo de Entrega

### 4.1 Meta 1 – Modelação e Implementação

**Material a entregar:**

- O código desenvolvido, devidamente comentado;
- Um breve documento (max. 3 páginas), em formato pdf, com a seguinte informação:
  - Identificação dos elementos do grupo (Nomes, Números de Estudante, e-mails, Turma(s) Prática(s))
  - Informação pertinente relativamente a esta meta

**Modo de Entrega:**

Entrega electrónica através do Inforestudante.

**Data Limite: 3 de Abril de 2016**

### 4.2 Meta Final – Meta Refinamento e Experimentação

**Material a entregar:**

- O código desenvolvido, devidamente comentado, para cada uma das metas;

- Um relatório (max. 15 páginas), em formato pdf, com a seguinte informação:
  - Identificação dos elementos do grupo (Nomes, Números de Estudante, e-mails, Turma(s) Prática(s))
  - Informação pertinente relativamente à globalidade do trabalho realizado

Num trabalho desta natureza o relatório assume um papel importante. Deve ter o cuidado de descrever detalhadamente todas as funcionalidades implementadas, dando particular destaque aos problemas e soluções encontradas. Deve ser fácil ao leitor compreender o que foi feito e ter por isso capacidade de adaptar / modificar o código.

A **experimentação** é uma parte essencial do desenvolvimento de aplicações de IA. Assim, deve descrever detalhadamente as experiências realizadas, analisar os resultados, extrair conclusões e efectuar alterações (caso se justifique) em função dos resultados experimentais.

O relatório deve conter informação relevante tanto da perspectiva do utilizador como do programador. Não deve ultrapassar as 15 páginas, formato A4. Todas as opções tomadas deverão ser devidamente justificadas e explicadas.

### **Modo de Entrega:**

Entrega electrónica através do Inforestudante.

**Data Limite: 17 de Abril de 2016**

## 5 Checklist

Nesta secção fornece-se uma breve checklist que visa minimizar as probabilidades de lacunas graves no trabalho e relatório. Importa no entanto salientar que esta checklist **não substitui** a validação das opções tomadas, que deverá ser efectuada preferencialmente durante as aulas Práticas Laboratoriais, **nem garante** a obtenção de uma classificação final positiva.

- O problema está devidamente modelado?
- O relatório contém a modelização efectuada?
  - O que é um estado?
  - Qual o estado inicial?
  - Como se define um estado final?
  - Quais são os operadores de mudança de estado?
  - Qual a natureza da solução pretendida?
  - Qual o custo associado a cada movimento?
  - Que tipo de Heurísticas são aplicáveis?
- As implementações dos seguintes algoritmos estão correctas e devidamente validadas?
  - Pesquisa em profundidade limitada?
  - Aprofundamento Progressivo?
  - Pesquisa Sôfrega?
  - A\*?
- Implementou a heurística mencionada no enunciado (número de caixas fora de posição)?
- Desenvolveu heurísticas adicionais para além da mencionada?
- Explicou a lógica dessas heurísticas?
- Analisou se eram admissíveis?
- Implementou correctamente as heurísticas?
- Realizou testes com todos os algoritmos e variantes implementados?
- Considerou vários mapas de diferentes complexidades?

- Analisou a performance em termos de:
  - Sucesso/Fracasso?
  - Discriminação
  - Tempo?
  - Memória?
- Comparou os resultados obtidos com os os valores teóricos de complexidade?

## 6 Bibliografia

- **Inteligência Artificial: Fundamentos e Aplicações**  
*Ernesto Costa, Anabela Simões*