Manual Técnico

Logotipo da Instituto Politécnico de Setúbal - Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

Puzzle dos Pontos e das Caixas

**Docentes da disciplina**

Joaquim Filipe

Cédric Grueau

**Um trabalho realizado por**

Artur Esteves 140221076 Engenharia Informática

Daniel Costa 120221058 Engenharia Informática

Conteúdo

[Introdução 3](#_Toc469841977)

[Ambiente de desenvolvimento 3](#_Toc469841978)

[Software 3](#_Toc469841979)

[Requisitos 3](#_Toc469841980)

[Algoritmo geral 4](#_Toc469841981)

[Conteúdo da aplicação 4](#_Toc469841982)

[Algoritmos 4](#_Toc469841983)

[Breadth-First 4](#_Toc469841984)

[Depth-First 5](#_Toc469841985)

[A\* 5](#_Toc469841986)

[IDA\* 5](#_Toc469841987)

[Heurística 5](#_Toc469841988)

[Funções 6](#_Toc469841989)

[Diagrama - Interação com Utilizador 9](#_Toc469841990)

[Análise dos resultados 9](#_Toc469841991)

[Resultados 9](#_Toc469841992)

[Quadro Comparativo 12](#_Toc469841993)

[Limitações da aplicação 12](#_Toc469841994)

[Conclusão 12](#_Toc469841995)

[Bibliografia 13](#_Toc469841996)

[Fontes Literárias 13](#_Toc469841997)

[Fontes de endereço 13](#_Toc469841998)

# Introdução

No âmbito da disciplina Inteligência Artificial, do curso de Engenharia informática do Instituto Politécnico de Setúbal – Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, foi proposto pelos docentes da disciplina o desenvolvimento de um projeto, em LISP, denominado por “Puzzle dos pontos e caixas”, de modo que os alunos possam aplicar os seus conhecimentos adquiridos nas aulas práticas e laboratórios da disciplina.

Este jogo consiste em fechar um determinado número de caixas a partir de uma configuração inicial do tabuleiro. Para alcançar o objetivo será necessário desenhar um arco entre dois pontos adjacentes, tanto na horizontal como vertical, e quando o tiver 4 arcos desenhados, entre pontos adjacentes, temos uma caixa fechada.

Para mais informações sobre as características do jogo é favor consultar o enunciado do projeto de forma a integrar-se no jogo e o seu modo de procedimento.

# Ambiente de desenvolvimento

## Software

A Tabela 1 Softwares utilizados, contém os softwares utilizados para o desenvolvimento deste projeto:

Tabela Softwares utilizados

|  |  |
| --- | --- |
| LispWorks 7.0 (x64) | Ferramenta de desenvolvimento |
| Notepad++ | Editor de Texto |
| GIT | Repositório |

## Requisitos

A Tabela 2 Requisitos mínimos software, contém os requisitos mínimos e recomendados das máquinas de modo a suportar o LispWorks 7.0 (64bits):

Tabela Requisitos mínimos software

|  |  |
| --- | --- |
| Requisitos mínimos | |
| Windows (x64) | **Windows (x32)** |
| Processador AMD64|Intel 64  Memória de disco: 170MB  Sistema Operativo: Windows Vista SP2 (x64) | Processador Pentium 4  Memória de disco: 170MB  Sistema Operativo: Windows Vista SP2 (x64) |
| Macintosh (x64) | **Macintosh (x32)** |
| Processador Intel-based Macintosh  Memória de disco: 285MB  Sistema Operativo: OS X v.10.5 | Processador Intel-based Macintosh  Memória de disco: 265MB  Sistema Operativo: OS X v.10.5 |

# Algoritmo geral

## Conteúdo da aplicação

Este projeto foi proposto com a seguinte estrutura:

* Problemas.dat

Ficheiro que contêm os tabuleiros, isto é, os problemas que serão para resolver pelo programa. Cada problema é uma lista que contém uma lista de arcos verticais e arcos horizontais.

* Projeto.lisp

Ficheiro responsável pela interação com o utilizador, imprimindo menus no ecrã da máquina com as opções.

* Puzzle.lisp

Ficheiro responsável pela gestão das regras do domínio da aplicação. Neste ficheiro são encontrados os operadores, validações e outras funções úteis para o seu desenvolvimento.

* Procura.lisp

Neste ficheiro encontra-se a procura genérica e os algoritmos, assim como os sucessores, funções de cálculo (penetrância e fator de ramificação) e funções auxiliares. Responsável pela execução da procura de um problema até encontrar a solução objetiva.

**NOTA:**

Gostaríamos de alertar para a utilização dos ficheiros nos diversos Sistemas Operativos (Mac OS X; LINUX; Elementary entre outros), na qual não tínhamos qualquer meio de utilizar nesses mesmos ambientes.

## Algoritmos

Neste projeto foi proposto 4 algoritmos, na qual ao longo das próximas secções vamos descrever algumas das suas características.

### *Breadth-First*

A procura em largura (em Inglês Breadth-first) é um método de procura não-informada que expande todos os nós de uma árvore de uma solução. Este método realiza uma procura exaustiva numa árvore inteira, sem considerar o seu alvo de procura, até que ele o encontre. Este algoritmo não utiliza uma heurística.

Do ponto de vista do algoritmo, todos os nós filhos obtidos pela expansão de um nó são adicionados a uma fila (FIFO). Normalmente, nós que ainda não foram estudados pelos seus vizinhos são colocados num *container* (uma lista) designada por “lista de aberto". Uma vez examinados, são colocados num outro *container, a “lista de fechados”.*

### *Depth-First*

A procura em profundidade (*Depth-first* em Inglês) é um algoritmo de procura em profundidade realiza uma procura, não-informada, que progride através da expansão do primeiro nó filho da árvore de procura, e se aprofunda cada vez mais, até que o alvo da procura seja encontrado ou até que ele se depare com um nó que não possui filhos (nó folha). Então a procura retrocede (*backtrack*) e começa no próximo nó.

### A\*

A procura A\* é um tipo de procura informada (método heurística), ao contrário dos algoritmos já apresentados, que utiliza heurísticas de forma a direcionar a procura de uma solução. Recorrendo a uma heurística e estimando o custo de cada nó até a solução (composto por **g** (custo até ao nó em questão) e **h** (custo restante até à solução) é possível ordenar os nós a serem expandidos e assim explorar os que são mais prováveis de levar a uma solução. Desta forma reduz-se o número de nós a expandir tornando a pesquisa mais rápida.

### IDA\*

O IDA\* utiliza o mesmo conceito que o A\*, mas só que tenta reduzir a quantidade de memória utilizada através do uso de limiares de custo, **L.**

Isto é só mantém em memória, e expandem-se, nós que tenham um valor inferior ao limite estimado no nó inicial. Caso se chegue a um caso em que não se encontram nós que satisfaçam esta condição, volta a fazer executar a procura e escolhe um novo limiar, que assumo como limite o valor mais baixo por entre os nós descartados. Repete-se este procedimento até encontrar a solução.

**NOTA:**

Tanto o algoritmo A\* como IDA\* algoritmos encontram a solução ótima caso a heurística utilizada seja admissível.

# Heurística

As heurísticas acrescentam conhecimento sobre o domínio da aplicação aos algoritmos de procura informados (A\* e IDA\*). São regras empíricas que podem oferecer aceleração no processo de procura. As heurísticas são admissíveis quando, para qualquer grafo, descobre sempre o caminho ótimo até achar o objetivo. Neste projeto foi desenvolvido duas heurísticas, sendo uma proposta pelos docentes e outra ao nosso critério.

* Heuristica1

Fornecida pelo enunciado do projeto, consiste numa subtração do número de caixas fechadas de um tabuleiro pelo número de caixas ainda a fechar, escritas pelo utilizador e ainda subtrai 1. Esta heurística é admissível, visto que o valor heurístico da solução dá 0 (h=0) (Ver Resultados). A forma apresentada será a seguinte:

* + - **h(x) = o(x) + c(x) – 1**, onde o(x) é o numero de caixas a fechar e c(x) o número de caixas fechadas de um determinado tabuleiro.
* Heuristica2

Heurística é proposta pelos alunos que realizaram o projeto onde consiste numa subtração do número de caixas fechadas de um tabuleiro pelo número de caixas ainda a fechar. Trata-se de uma heurística simples e eficaz e para alguns casos é admissível. A forma apresentada será a seguinte:

* + - **h(x) = o(x) + c(x),** onde o(x) é o numero de caixas a fechar e c(x) o número de caixas fechadas de um determinado tabuleiro.

# Funções

Segue uma lista das funções principais, existentes em cada ficheiro, assim como a sua descrição:

* Projeto.lisp

|  |  |
| --- | --- |
| Função | Descrição |
| (iniciar) | Função que inicializa o programa, chama a função que pede ao utilizador colocar a diretoria e esse será passada como argumento para carregar os ficheiros. |
| (inserir-diretoria) | Função que pede ao utilizador para colocar a raiz da pasta onde se encontram os ficheiros do projeto. |
| (load-files) | Função que carrega os ficheiros de puzzle e procura para o programa e executa o menu" |
| (menu-inicial) | Apresenta o menu principal do programa. |
| (iniciar-procura) | Função que pede ao utilizador toda a informação necessária para começar uma procura no espaço de estados. |
| (ler-tabuleiro) | Lista todos os problemas e faz a leitura numa diretoria que chama o ficheiro que contém todos os problemas. |
| (ler-numero-objectivo-caixas) | Lê o numero de caixas que o utilizador pretende fechar. |
| (ler-algoritmo) | Função que recebe do utilizador o algoritmo que pretende utilizar do problema anteriormente escolhido. |
| (ler-heuristica) | No caso de o utilizador escolher o algoritmo a-asterisco ou ida-asterisco, será mostrado o menu que mostra as duas heurísticas que pretende usar na procura |
| (ler-profundidade) | Função que lê a profundidade máxima do utilizador caso esta escolha o algoritmo depth-first (procura em profundidade). |
| (resultados) | Imprime os resultados do jogo. |
| (sem-resultados) | Função que imprime num ficheiro do tipo .DAT que não existe solução de determinado nó. |

* Procura.lisp

|  |  |
| --- | --- |
| Função | Descrição |
| (procura-generica) | Permite procurar a solução de um problema usando a procura no espaço de estados. A partir de um estado inicial,  de uma função que gera os sucessores e de um dado algoritmo |
| (procura-ida-asterisco) | Permite procurar a solução de um problema usando procura no espaço de estados. A partir de um estado inicial,  gera os sucessores e do algoritmo IDA\* a partir de um estado inicial e um limiar. |
| (novo-limiar) | Função auxiliar da procura do algoritmo IDA\*, que serve para implementar um novo limiar caso seja maior que o custo. |
| (bfs) | Função que executa o algoritmo de procura em largura. Faz uma junção da lista de abertos com os sucessores. |
| (dfs) | Função que executa o algoritmo de procura em profundidade. Faz uma junção da lista de sucessores com os abertos. |
| (a-asterisco) | Função que executa o algoritmo a\*. Faz uma junção da lista de sucessores com os abertos, tendo em conta a ordenação do valor do custo. |
| (ida-asterisco) | Função que executa o algoritmo ida\*. Faz uma validação do custo do nó com o limiar que é passado pelo argumento, caso contrário passará ao próximo nó sucessor. |
| (sucessores) | Função que retornada uma lista com todos os sucessores de um nó. |
| (existep) | Retorna valor verdadeiro, se o nó existir na lista. Para o algoritmo dfs, o conceito de nó repetido é particular. |
| (existe-solucao) | Verifica se existe uma solução ao problema numa lista de sucessores para o algoritmo dfs |
| (penetrancia) | Retorna o valor da penetrância dos nos gerados até o nó objetivo sobre dos nos totais gerados. |
| (fator-ramificacao) | Retorna o valor do fator de ramificação, compreendido entre uma margem. |

* Puzzle.lisp

|  |  |
| --- | --- |
| Função | Descrição |
| (criar-no) | Cria uma lista que representa um nó. Um nó é composto pelo estado que é o tabuleiro, este é um parâmetro obrigatório, é composto também por outros parâmetros, como a profundidade a que se encontra, pela heurística deste mesmo nó e pelo nó pai, ou seja, o nó que o gerou.  A profundidade e a heurística por omissão têm valor nil, enquanto que o nó pai por defeito é NIL. |
| (get-no-estado) | Retorna o estado do nó, que é representado pelo tabuleiro. |
| (get-no-profundidade) | Retorna a profundidade em que o nó se encontra. |
| (get-no-heuristica) | Retorna a heurística do nó. |
| (get-no-pai) | Retorna o nó pai deste nó, ou seja, o nó que gerou este nó. |
| (custo) | Retorna o valor do custo do nó (f). Soma do valor da profundidade com o valor heurístico. |
| (get-arcos-horizontais) | Retorna a lista dos arcos horizontais de um tabuleiro. |
| (get-arcos-verticais) | Retorna a lista dos arcos verticais de um tabuleiro. |
| (Inserir-arco-na-posicao) | Insere um arco (representado pelo valor [T]) numa lista que representa o conjunto de arcos dum tabuleiro. A posição representada pela linha e a coluna de destino são valores inteiros passados como argumentos. |
| (inserir-arco-vertical) | Insere um arco vertical (representado pelo valor [T]) num tabuleiro passado como argumento. |
| (inserir-arco-horizontal) | Insere um arco horizontal (representado pelo valor [T]) num tabuleiro passado como argumento. |
| (possível-adicionar-arco) | Recebe índices de linha e coluna e uma lista de arcos horizontais ou de arcos verticais e verifica se naquela posição o valor é [T], se for devolve [NIL], se for [NIL] devolve [T]. |
| (operadores) | Cria uma lista com todos os operadores do problema dos Pontos e das Caixas. |
| (numero-linhas-tabuleiro) | Retorna o número de linhas verticais de um tabuleiro. |
| (numero-colunas-tabuleiro) | Retorna o número de linhas verticais de um tabuleiro. |
| (caixas-fechadas) | Retorna o numero de caixas fechadas de um tabuleiro. |
| (contar-objetivo) | Função que irá contar se a caixa está fechada ou não, isto é, se a função auxiliar conta-caixa-fechada |
| (contar-nils-lista) | Função que irá contar o numero de NILS's existentes numa lista. Se não existir dará valor 0, ou seja, teríamos uma lista só com T, o que resulta uma caixa fechada. |
| (heuristica1) | Usada uma heurística que privilegia os tabuleiros com o maior número de caixas fechadas. |
| (heuristica2) | Heurística efetuada pelos alunos que se baseia na heuristica1. |
| (solucaop) | Devolve [T] se o número de caixas a fechar for igual ao número de caixas fechadas do nó, e devolve [NIL] se não for |
| (caminho-solucao) | Retorna o caminho até à solução. Ou seja, todos os estados desde a inicial à solução. |

# Diagrama - Interação com Utilizador

O diagrama de sequência que se segue, é uma representação de baixo nível, da interação que o utilizador terá quando inicia o programa na consola.



Ilustração DIagrama sequências da interação inicial

# Análise dos resultados

## Resultados

Os resultados seguintes, serão mostrados por ordem dos problemas, tento em conta o número de caixas objetivas apresentadas pelo docente:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problema A para 3 caixas objetivo | | | | | | | | | | | | |
|  | BFS | | DFS | | | A\* - Heuristica1 | | A\* - Heuristica2 | | IDA\* - Heuristica1 | | IDA\* - Heuristica2 |
| Nós Gerados | 1129 | | 84 | | | 313 | | 1129 | | 127 | | 127 |
| Nós Expandidos | 81 | | 31 | | | 22 | | 81 | | 13 | | 13 |
| Profundidade | 2 | | 4 | | | 2 | | 2 | | 12 | | 12 |
| Penetrância | 0.0017714792 | | 0.04761905 | | | 0.0063897763 | | 0.0017714792 | | 0.09448819 | | 0.09448819 |
| Fator de ramificação | 8.50333 | | 2.1368685 | | | 4.410605 | | 8.50333 | | 1.2273736 | | 1.2273736 |
| Caixas Fechadas | 3 | | 3 | | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 |
| Valor Heurístico | NIL | | NIL | | | 0 | | 2 | | 0 | | 5/2 |
| Tempo decorrido(s) | 0 | | 0 | | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 |
| Problema B com 7 caixas objetivo | | | | | | | | | | | | |
|  | | BFS | | DFS | A\* - Heuristica1 | | A\* - Heuristica2 | | IDA\* - Heuristica1 | | IDA\* - Heuristica2 | |
| Nós Gerados | | 198 | | 16 | 198 | | 198 | | 85 | | 85 | |
| Nós Expandidos | | 15 | | 1 | 15 | | 15 | | 8 | | 8 | |
| Profundidade | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 7 | | 7 | |
| Penetrância | | 0.005050505 | | 0.0625 | 0.005050505 | | 0.005050505 | | 0.08235294 | | 0.08235294 | |
| Fator de ramificação | | 15.324541 | | 1.682121 | 15.324541 | | 15.324541 | | 1.2273736 | | 1.2273736 | |
| Caixas Fechadas | | 7 | | 7 | 7 | | 7 | | 7 | | 7 | |
| Valor Heurístico | | NIL | | NIL | 1 | | 2 | | 0 | | 13/2 | |
| Tempo decorrido(s) | | 0 | | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problema C com 10 caxas objetivo | | | | | | |
|  | BFS | DFS | A\* - Heuristica1 | A\* - Heuristica2 | IDA\* - Heuristica1 | IDA\* - Heuristica2 |
| Nós Gerados | - | 6400 | 76968 | - | 162 | 162 |
| Nós Expandidos | - | 6311 | 6710 | - | 15 | 15 |
| Profundidade | - | 10 | 8 | - | 14 | 14 |
| Penetrância | - | 0.0015625 | 1.039393E-4 | - | 0.086419754 | 0.086419754 |
| Fator de ramificação | - | 2.1368685 | 3.0463629 | - | 1.2273736 | 1.2273736 |
| Caixas Fechadas | - | 10 | 10 | - | 10 | 10 |
| Valor Heurístico | - | Nil | Nil | - | 0 | 19/2 |
| Tempo decorrido(s) | - | 2 | 232 | - | 0 | 0 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problema D com 10 caixas objetivo | | | | | | |
|  | BFS | DFS | A\* - Heuristica1 | A\* - Heuristica2 | IDA\* - Heuristica1 | IDA\* - Heuristica2 |
| Nós Gerados | - | 1171 | 1171 | 1171 | - | - |
| Nós Expandidos | - | 39 | 40 | 40 | - | - |
| Profundidade | - | 39 | 39 | 39 | - | - |
| Penetrância | - | 0.033304867 | 0.033304867 | 0.033304867 | - | - |
| Fator de ramificação | - | 1.2273736 | 1.2273736 | 1.2273736 | - | - |
| Caixas Fechadas | - | 10 | 10 | 10 | - | - |
| Valor Heurístico | - | Nil | 0 | 19/2 | - | - |
| Tempo decorrido(s) | - | 0 | 0 | 0 | - | - |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problema E com 20 caixas objetivo | | | | | | |
|  | BFS | DFS | A\* - Heuristica1 | A\* - Heuristica2 | IDA\* - Heuristica1 | IDA\* - Heuristica2 |
| Nós Gerados | - | 796 | - | - | 796 | 796 |
| Nós Expandidos | - | 30 | - | - | 31 | 31 |
| Profundidade | - | 30 | - | - | 30 | 30 |
| Penetrância | - | 0.03768844 | - | - | 0.03768844 | 0.03768844 |
| Fator de ramificação | - | 1.2273736 | - | - | 1.2273736 | 1.2273736 |
| Caixas Fechadas | - | 20 | - | - | 20 | 20 |
| Valor Heurístico | - | NIL | - | - | 1 | 19 |
| Tempo decorrido(s) | - | 0 | - | - | 0 | 0 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problema F com 45 caixas objetivo | | | | | | |
|  | BFS | DFS | A\* - Heuristica1 | A\* - Heuristica2 | IDA\* - Heuristica1 | IDA\* - Heuristica2 |
| Nós Gerados | - | 5986 | - | - | 5986 | 5986 |
| Nós Expandidos | - | 105 | - | - | 106 | 106 |
| Profundidade | - | 105 | - | - | 105 | 105 |
| Penetrância | - | 0.017540928 | - | - | 0.017540928 | 0.017540928 |
| Fator de ramificação | - | 1.2273736 | - | - | 1.2273736 | 1.2273736 |
| Caixas Fechadas | - | 45 | - | - | 45 | 45 |
| Valor Heurístico | - | Nil | - | - | 0 | 89/2 |
| Tempo decorrido(s) | - | 1 | - | - | 0 | 0 |

**NOTA:**

Os problemas C, D, E e F, não estão preenchidos, em alguns algoritmos, uma vez que apresentam erros de memória (*You are approaching the heap size limit for the Personal Edition of LispWorks.If you choose to continue now you are advised to save your work at regular intervals*.).

Ou seja, o programa LispWorks está intencionalmente limitado,visto que é uma versão gratuita, de modo a evitar os chamados “crashes” com outros programas. Assim, este problema acaba por ser uma limitação que apresentamos (Limitações da aplicação).

## Quadro Comparativo

No quadro seguinte (Tabela 3 Quadro comparativo dos resultados), podemos ter uma ideia do tempo de execução para cada problema, utilizando algoritmos diferentes:

Tabela Quadro comparativo dos resultados – Tempo de execução

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Problemas | Breadh-First | Depth-First | A\* (heuristica1) | A\* (heuristica2) | IDA\* (heuristica1) | IDA\* (heuristica2) |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | - | 2 | 232 | - | 0 | 0 |
| D | - | 0 | - | - | 0 | 0 |
| E | - | 0 | - | - | 0 | 0 |
| F | - | 1 | - | - | 0 | 0 |

Este quadro apresenta os tempos de execução dos exemplos acima mostrados na Tabela 3 Quadro comparativo dos resultados – Tempo de execução.

# Limitações da aplicação

Neste projeto existem algumas limitações. Deparamos com uma limitação do LispWorks, que para resolver alguns problemas, apresenta problemas de "*heap size*", este problema deve-se ao facto de o LispWorks na versão gratuita disponibilizar apenas uma pouca quantidade de memória e como alguns os problemas que resolvemos já começam a ser pesados devido às dimensões das árvores geradas. Os algoritmos não informados, como a procura em largura e a profundidade encontram a solução ótima

se os custos forem uniformes, no entanto devido à quantidade de nós que a profundidade em largura tem de analisar muitas das vezes não é possível encontrar a solução com este

algoritmo. Algoritmos informados como o A\* e IDA\* só encontram a solução ótima se a heurística utilizada for admissível, no entanto como a função que gera os sucessores não

está otimizada irá atrasar a procura.

# Conclusão

Com o desenvolvimento deste primeiro projeto, ao longo das últimas semanas foi bastante enriquecedor no que toca aos assuntos abordados de LISP, e são sem dúvida uma mais valia na futura vida académica e profissional, no entanto, e de notar que é uma linguagem que apresenta um grau de dificuldade exigente. Inicialmente, encontramos algumas dificuldades de codificação, mas assim que essa foi ultrapassada deparamo-nos com erros, de limitação de memória, ao testar a solução dos problemas, que acabou por ser uma limitação deste projeto. Em relação aos algoritmos foram todos bem-sucedidos, e de modo eficaz, isto é, o programa está capaz de apresentar a solução do problema num curto espaço de tempo, no entanto, podemos concluir que na procura dos algoritmos não informados, o Breadth-First é o que gera maior número de nós, comparativamente ao Depth-First, o que leva a ocupar mais memória, sendo menos eficiente. Relativamente aos algoritmos informados, devido ao uso da heurística, podemos verificar que geram menor número de nós comparativamente ao Depth-First e Breadth-First, o que leva a ocupar menor memória do programa.

# Bibliografia

## Fontes Literárias

* Filipe, Joaquim (2015) - Algoritmos de Procura em Espaço de Estados, Setúbal.

## Fontes de endereço

* LispWorks. Disponível em <http://www.lispworks.com/support/system-requirements.html> . Acesso em 7 de dezembro de 2016.
* Design and Analysis of Algorithms. Disponível em <https://www.ics.uci.edu/~eppstein/161/960215.html>. Acesso em 2 de Dezembro de 2016.
* University of Washington, Computer Science & Engineering. Disponível em <http://faculty.washington.edu/dbp/SAPACLISP-1.x/basic-math.lisp>. Acesso em 23 de novembro de 2016.
* University of Washington, Computer Science & Engineering. Disponível em <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse415/06wi/notes/IDA.pdf>. Acesso em 29 novembro de 2016.
* Heap Size, LispWorks User Guide - 11 Mar 2008*.* Disponível em <http://www.lispworks.com/documentation/lw51/LWUG/html/lwuser-456.htm> . Acesso em 17 dezembro de 2016.
* Prof. Michel Gagnon, Resolução de Problemas. Disponível em <http://www.professeurs.polymtl.ca/michel.gagnon/Disciplinas/Bac/IA/ResolProb/resproblema.html>. Acesso em 18 dezembro de 2016.