Escola Politécnica da USP - Depto. de Enga. Mecatrônica

PMR-3510 Inteligência Artificial

Aula 6- Resolução de problemas por máquinas usando estruturas

Prof. José Reinaldo Silva

reinaldo@usp.br

Trabalho em grupo

Os grupos estão já definidos. A configuração é a seguinte:

Grupo 1:

Fernando Vicente Grando Monteiro 8992919

Marcos Menon José 8989112

Sverker Fabian Hugert 11462480

Vitor Augusto Martin 8993100

Grupo 2:

David Calil Spindola Pedro - 8989384

Diego Augusto Vieira Rodrigues - 8989276

Felipe Cominato Nemr - 9345662

Guilherme Sugahara Faustino - 9348971

Grupo 3:

Lucas Hideki Sakurai 8989193

Lucas Pereira Cotrim 8989092

Matheus Torres Guinezi 9345679

Monize Bessa Arabadgi 7961944

Renan Masashi Yamaguchi 8989151

Grupo 4:

Alexandre Zamora Zerbini Denigres - 8583072

Dylan Kim Heleno - 8586072

Henrique Yda Yamamoto - 9349502

Vinicius Augusto Carnevali Miquelin - 8988410

Vinicius Takiuti Miura - 9345874

Grupo 5:

Guilherme Dello Russo - 9345895

Nathan Géraud PERRIN- 10935360

Natália Thoma Ricardo - 9344806

Grupo 6:

Beatriz Santin de Araujo Pinho - 8533851

Bianca Faria Silva - 8991599

Bruna Sayuri de Souza Suzuki - 7987501

Murillo José Almeida Faria de Oliveira - 9436785

Grupo 7:

Daniel Tsutsumi - 9349005

Gabriel Pinto - 8988017

Juliana Lopes - 8512600

Kaio Takase - 9345690

Matheus Ramalho - 9345710

Cronograma de entrega do trabalho em grupo

O cronograma de trabalho será dividido em "milestones":

Setembro 2019

webcid.com.br

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

7: Independência do Brasil 22: Início da primavera
06 - Quarto Crescente 14 - Lua Cheia 21 - Quarto Minguante 28 - Lua Nova

Outubro 2019

webcid.com.br

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

20: Início do horário de verão 12: Nsa. Sra. Aparecida 15: Dia dos Professores
05 - Quarto Crescente 13 - Lua Cheia 21 - Quarto Minguante 28 - Lua Nova

25/09 - início do processo, definição do domínio
02/10 - definição do algoritmo e implementação
09/10 - entrega do programa final
16/10 - competição

Cronograma de entrega do trabalho em grupo

O segundo trabalho consiste em procurar uma aplicação real de mercado que usa Inteligência Artificial clássica (não machine learning que é objeto de outra disciplina). O trabalho do grupo é avaliar esta aplicação tecnicamente, modelos aplicados, algoritmos de busca, classificação como sistema especialista, etc. uso de computação evolutiva (algoritmo genético, fuzzy logic...), problemas de implementação, uso e manutenção, satisfação do usuário com o sistema, e finalmente, desempenho. O cronograma de milestones é o seguinte

06/11 - texto (pdf) apresentando a aplicação

13/11 - resumo da análise completa

27/11 - apresentação do trabalho final

webcid.com.br

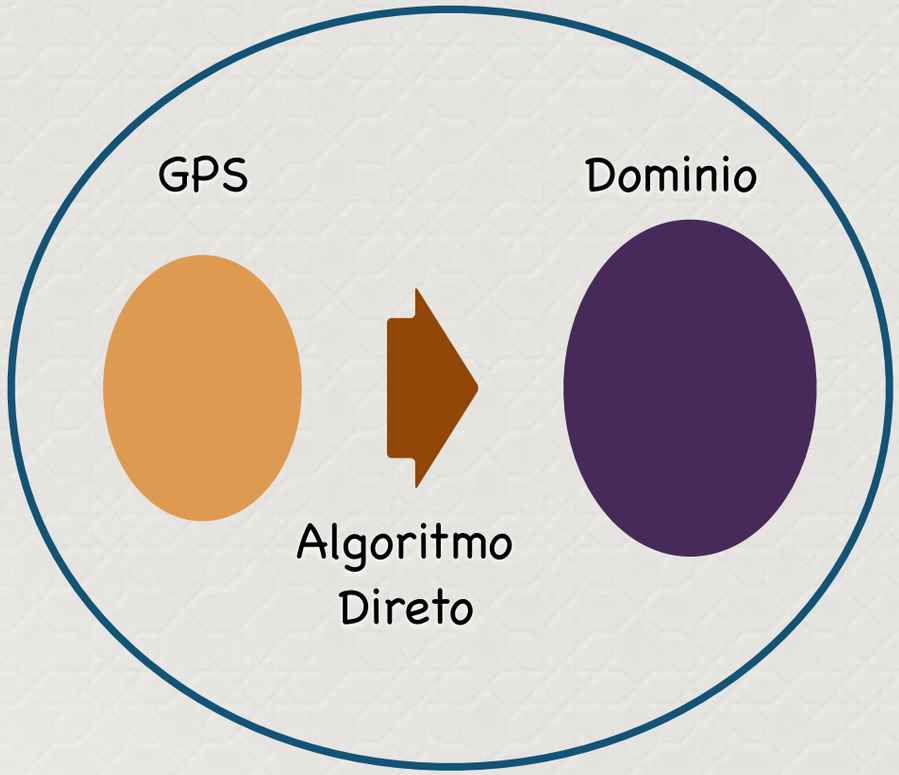
Dezembro 2019

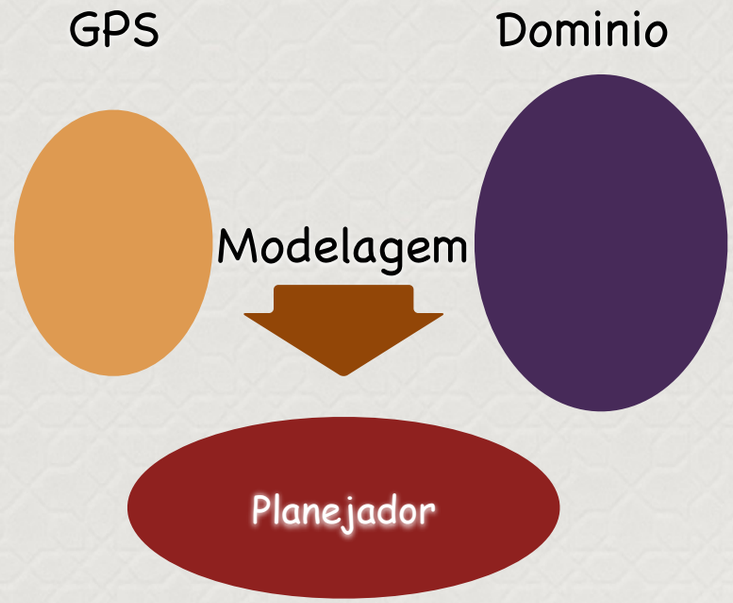
Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

21: Início do verão 25: Natal

04 - Quarto Crescente 12 - Lua Cheia 19 - Quarto Minguante 26 - Lua Nova

Na aula passada falamos sobre o STRIPS e consequentemente sobre "planning" e concluímos que algoritmos de resolução de problemas baseados no SRIPS podem ser de dois tipos:





Planejador genérico

O método do STRIPS é baseado em estado-transição e consiste em:

- Modelar o domínio onde o plano será aplicado: o que implica em definir claramente estados e restrições que devem nortear a aplicação de ações e operadores.

- Definir o problema de planejamento, isto é, as ações admissíveis, pre e pós-condições para a aplicação destas ações;

- Definir um processo de busca, direta, heurística ou definir um modelo de problema para ser resolvido (este último caso está fora do escopo desta disciplina).

Temos portanto 3 opções:

- Uma busca cega (inteligente?)
- Uma busca orientada por heurísticas!
- Tratar o problema por análise de propriedades para obter maior eficiência

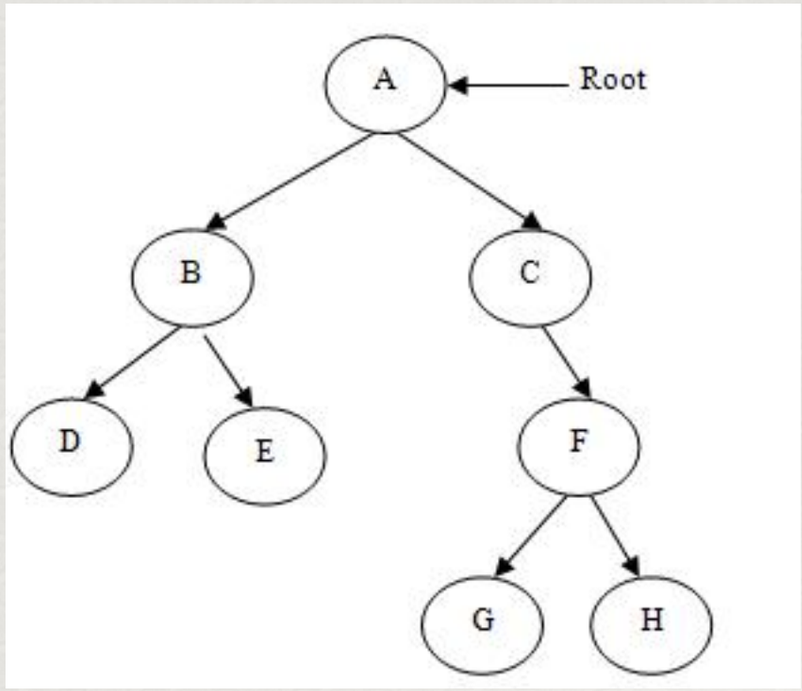
Entretanto... uma busca cega deve ser feita sobre uma estrutura

1. uma descrição clara do "estado inicial" ou seja das condições iniciais do problema a ser resolvido;
2. uma descrição clara do objetivo ou "estado final", de modo que seja possível saber quando (e se) o problema foi resolvido;
3. em cada estágio do processo de solução saber quais os próximos estados que podem ser atingidos;
4. poder escolher um (ou o melhor) caminho entre os estados acima;
5. saber que operadores (ou passos) aplicar para fazer a "transição" para um próximo estado;
6. discernir se estamos convergindo para a solução.

estrutura

Usando árvores como base para a solução

Uma opção muito interessante é modelar o espaço de estados na forma de uma árvore

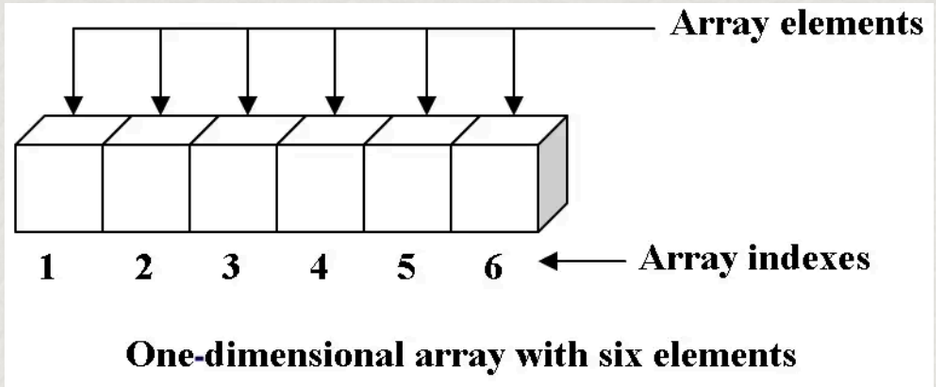


Estruturas e Listas

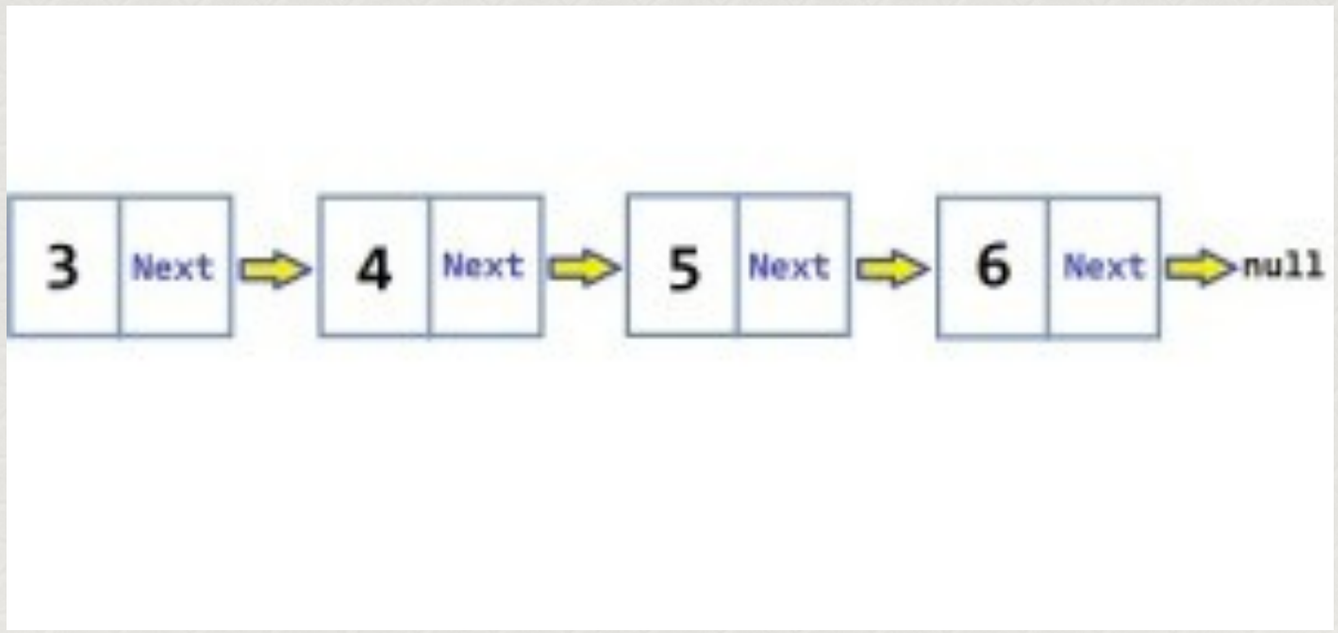
Uma estrutura básica em programação (lógica) é a lista. Conceitualmente uma lista é uma sequencia de registros homogênea. Normalmente estas listas são indexadas (arrays) ou direcionadas por ponteiros (listas ligadas).

No caso da programação em Prolog a lista segue seu conceito mais básico, isto é, composta de uma cabeça (head) que é o primeiro elemento da lista, e de um corpo (body) que é a sub-lista restante. Estes dois elementos básicos são suficientes para dar suporte a todas os algoritmos de manipulação de estruturas como árvores, vetores, etc.

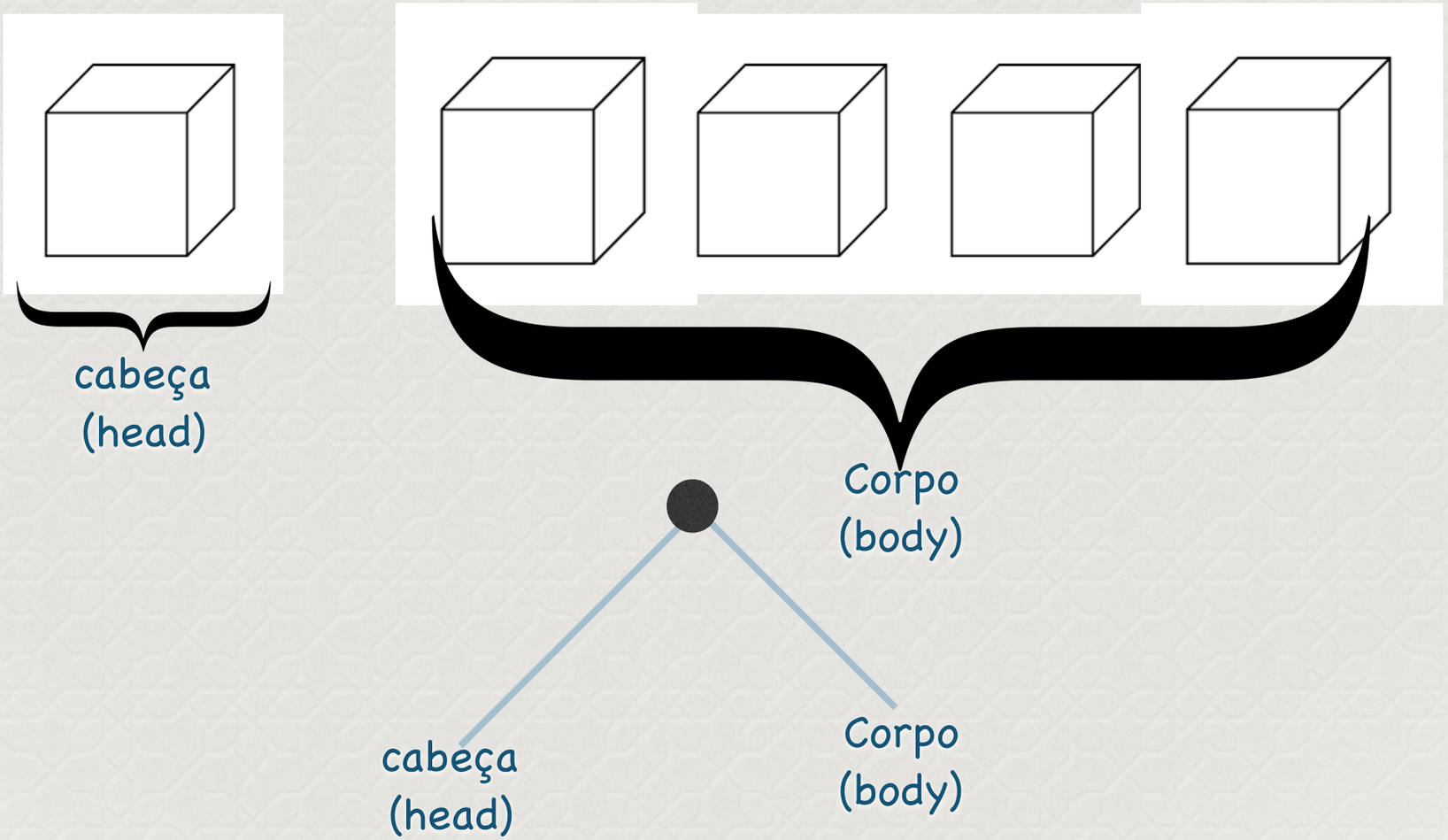
Instancias da estrutura abstrata lista



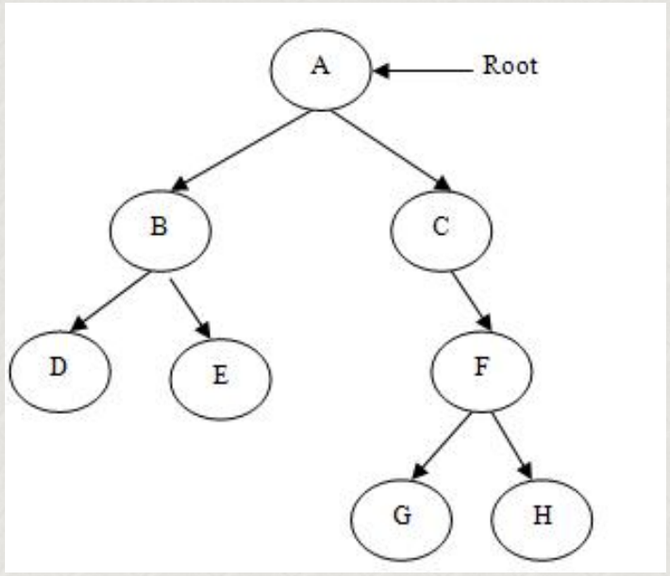
One-dimensional array with six elements

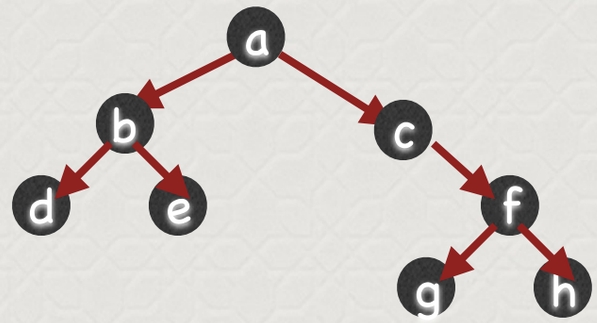


Estrutura abstrata de lista



Portanto é possível utilizar uma lista para implementar uma estrutura de árvore





[a, [b, [d, e]], [c, [f, [g, h]]]]

Em prolog...

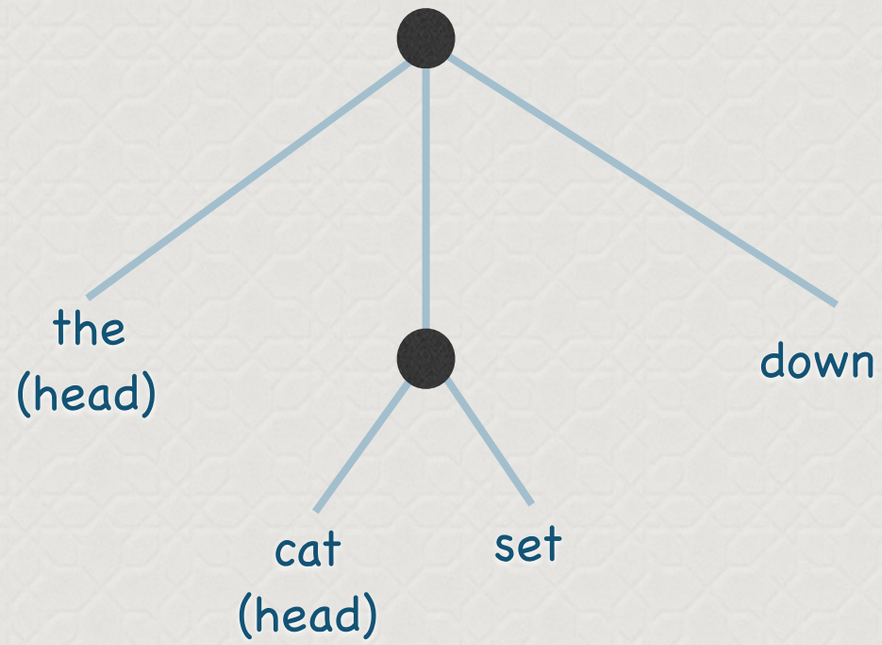
List	Head	Tail
[a, b, c]	a	[b, c]
[]	(none)	(none)
[[the, cat], sat]	[the, cat]	[sat]
[the, [cat, sat]]	the	[[cat, sat]]
[the, [cat, sat], down]	the	[[cat, sat], down]
[X+Y, x+y]	X+Y	[x+y]

Table 3.1. Some lists with their head and tail

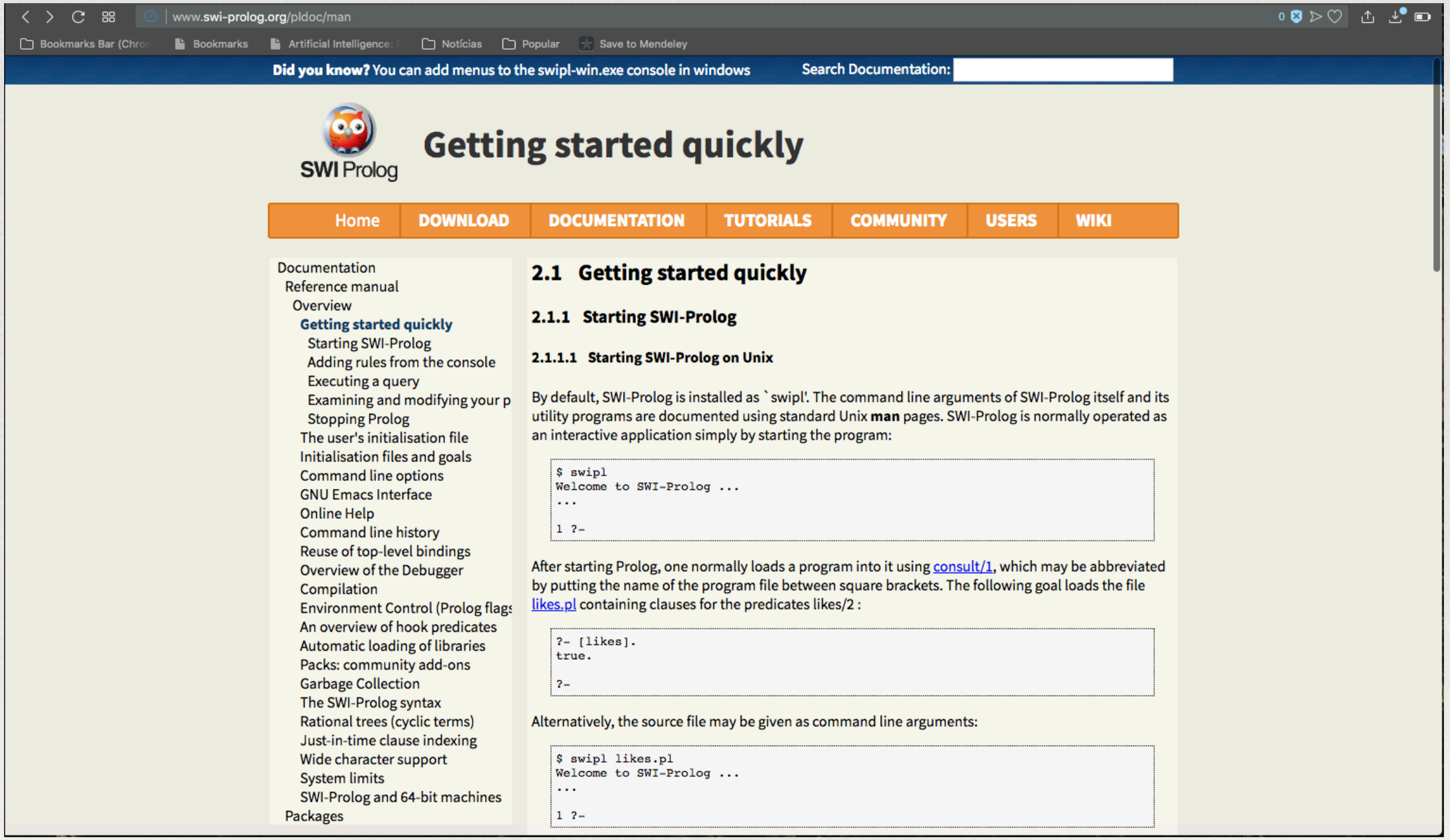
Programming in Prolog, Clocksin & Mellish

Em prolog...

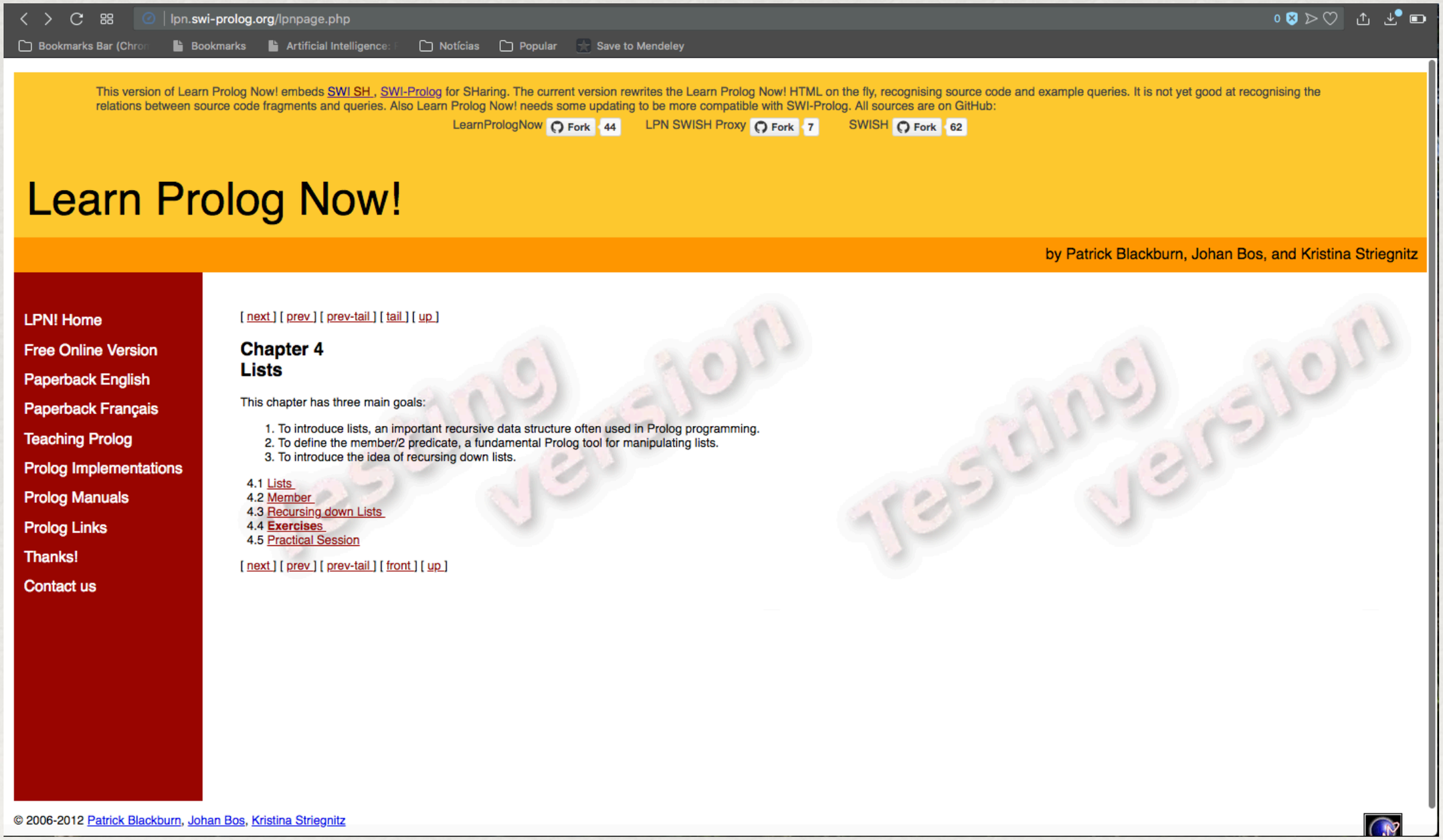
[the, [cat, set], down]



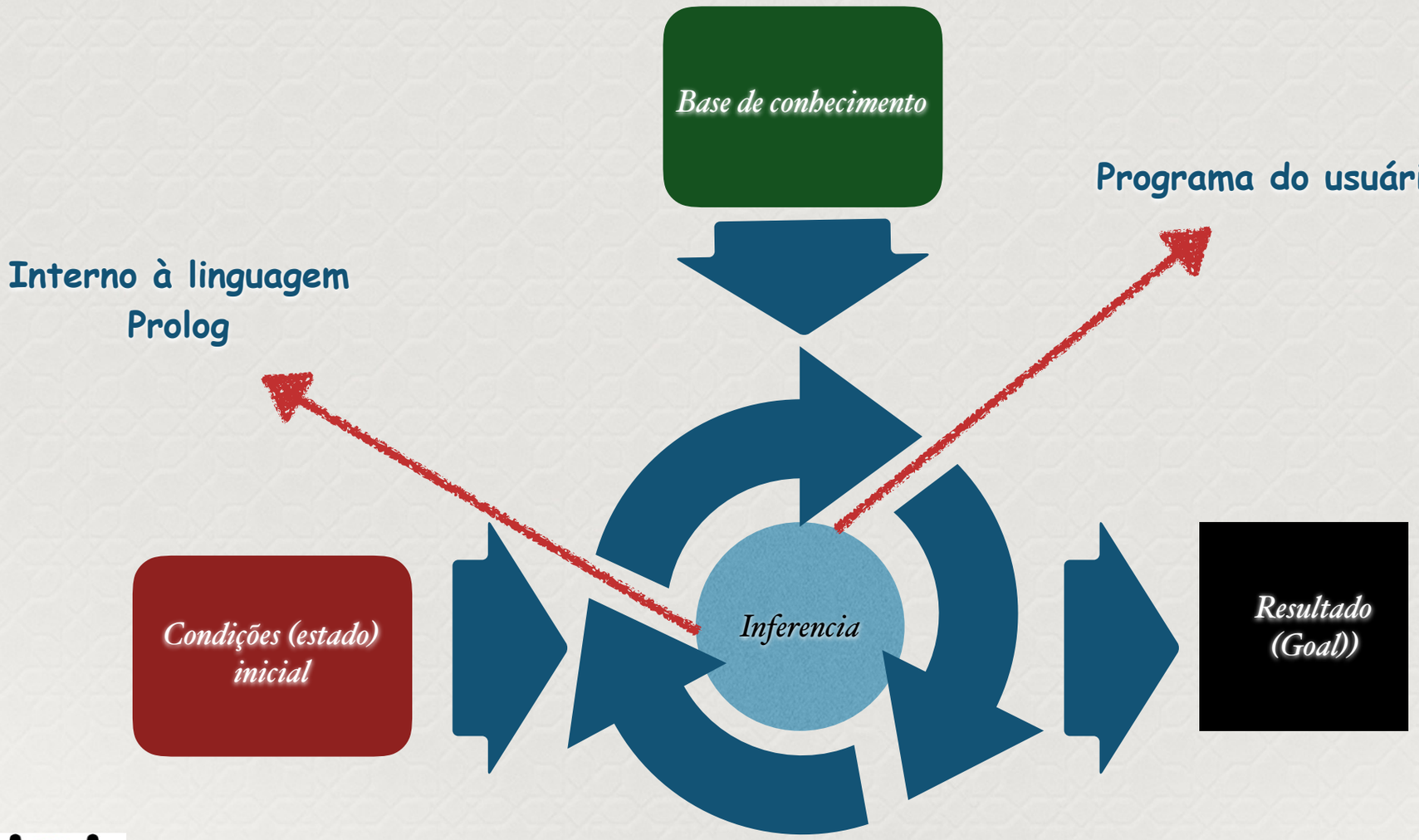
www.swi-prolog.org/pldoc/man



lpn.swi-prolog.org/lpnpage.php



Em uma primeira abordagem, gostaríamos de ter "agentes inteligentes" capazes de "resolver problemas". O que significa isso?



O predicado (interno) "member" checa se um dado elemento pertence à lista...

```
member(X,[X|T]).
member(X,[H|T]) :- member(X,T).
```

Usando os predicados do sistema...

swish.swi-prolog.org/p/Tic-Tac-Toe.swinb

AliExpress | Booking.com | Dafiti | Americanas | Facebook | Getting Started

SWISH File Edit Examples Help

111 users online

Search

Tic-Tac-Toe | Program

```
1 Your Prolog rules and facts go here ...
```

trace, *member*(felipe,[david,diego,felipe,guilherme]).

Call: lists:*member*(felipe, [david, diego, felipe, guilherme])
Exit: lists:*member*(felipe, [david, diego, felipe, guilherme])

true

trace, *member*(jeronimo,[david,diego,felipe,guilherme]).

Call: lists:*member*(jeronimo, [david, diego, felipe, guilherme])
Fail: lists:*member*(jeronimo, [david, diego, felipe, guilherme])

false

```
?- trace, member(jeronimo,[david,diego,felipe,guilherme]).
```

Examples | History | Solutions | table results | Run!

```
member(X,[X|T]).
member(X,[H|T]) :- member(X,T).
```

:- member(felipe, [david, diego, felipe, guilherme])

member(felipe, [felipe| T])? False

:- member(felipe, [diego, felipe, guilherme])

member(felipe, [felipe| T])? False

:- member(felipe, [felipe, guilherme])

member(felipe, [felipe| T])? True

T=[guilherme]

```
member(X,[X|T]).
member(X,[H|T]) :- member(X,T).
```

:- member(jeronimo, [david, diego, felipe, guilherme])

member(jeronimo, [jeronimo| T])? False

:- member(jeronimo, [diego, felipe, guilherme])

member(jeronimo, [jeronimo| T])? False

:- member(jeronimo, [felipe, guilherme])

member(jeronimo, [jeronimo| T])? False

:- member(jeronimo, [guilherme])

member(jeronimo, [jeronimo| T])? False

:- member(jeronimo, [])

False

operador interno append/3

Uma operação básica com listas é juntar duas listas em uma terceira lista.
O operador append/3 pode fazer isso facilmente...

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :- append(L1, L2, L3).
```

Usando a máquina de inf. do Prolog ...

swish.swi-prolog.org/p/Tic-Tac-Toe.swinb

AliExpress | Booking.com | Dafiti | Americanas | Facebook | Getting Started

SWISH File Edit Examples Help

107 users online

Search

Tic-Tac-Toe | Program

```
1 Your Prolog rules and facts go here ...
```

trace, *append*([guilherme_russo, natan, natalia],[fernando, marcos, sverker], Y).

Call: lists:*append*([guilherme_russo, natan, natalia], [fernando, marcos, sverker], _3864)
Exit: lists:*append*([guilherme_russo, natan, natalia], [fernando, marcos, sverker], [guilherme_russo, natan, natalia, fernando, marcos, sverker])
Y = [guilherme_russo, natan, natalia, fernando, marcos, sverker]

```
?- trace, append([guilherme_russo, natan, natalia],[fernando, marcos, sverker], Y).
```

Examples | History | Solutions | table results | Run!

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :- append(L1, L2, L3).
```

False

append([guilherme_russo, natan, natalia],[fernando, marcos, sverker], Y).

X=guilherme_russo
L1=[natan, natalia]
L2=[fernando, marcos, sverker]
Y= [guilherme_russo | L3]

append([natan, natalia],[fernando, marcos, sverker], L3).

X=natan
L1=[natalia]
L2=[fernando, marcos, sverker]
Y= [natan | L3]

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :- append(L1, L2, L3).
```

append([natalia],[fernando, marcos, sverker], L3).

X=natalia
L1=[]
L2=[fernando, marcos, sverker]
Y= [natalia | L3]

append([],[fernando, marcos, sverker], L3).

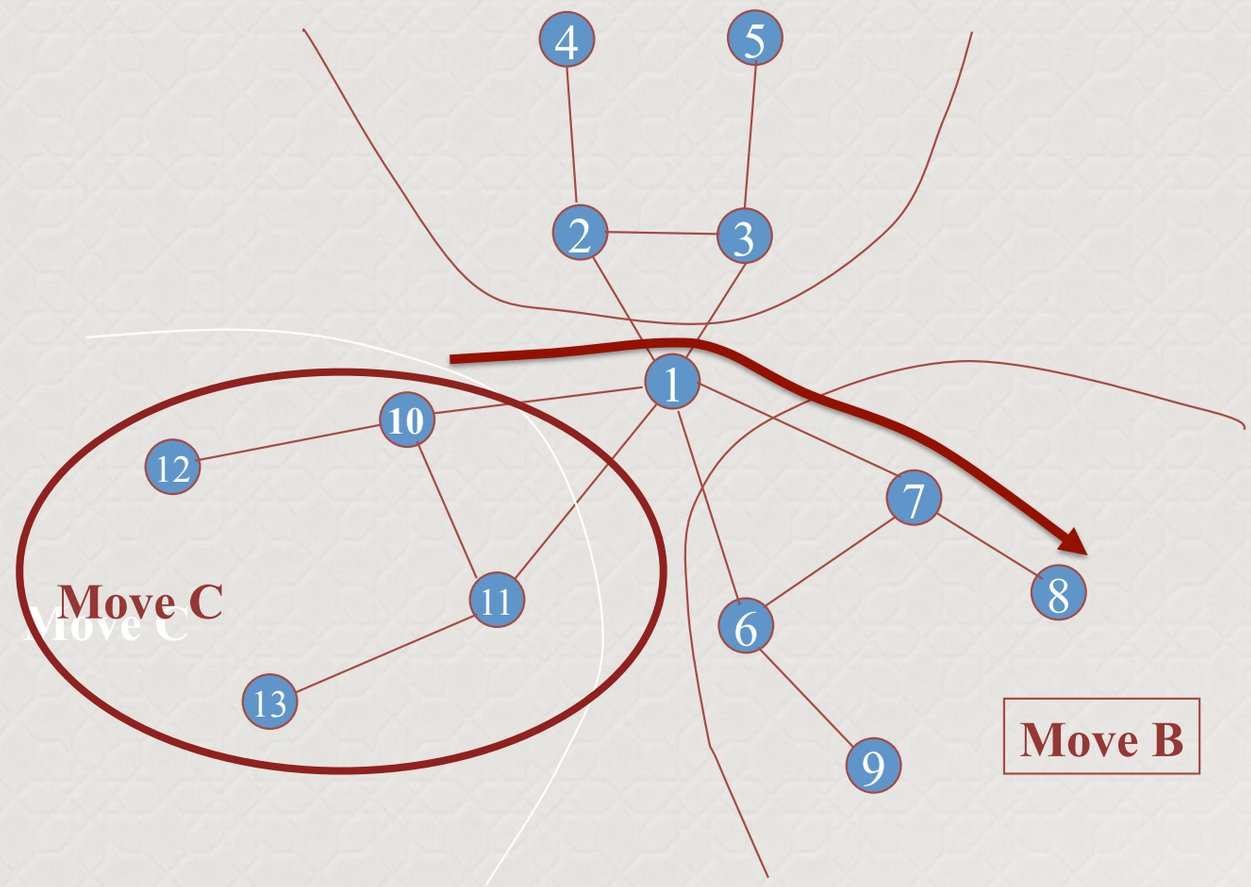
L3=[fernando, marcos, sverker]

Y=[guilherme_russo, natan, natalia, fernando, marcos, sverker]

Estes são predicados básicos para montar uma árvore ou grafo (uma lista) - usando o append/3 - e fazer ua busca em árvore - usando o member/2.

edge(12, 10)
edge(10,12)
edge(10,11)
edge(11,10)
edge(13,11)
edge(11,13)

	10	11	12	13
10	0	1	1	0
11	1	0	0	1
12	1	0	0	0
13	0	1	0	0



SWISH File Edit Examples Help — 101 users online — Search

Tic-Tac-Toe | Program

```
1  edge(12, 10).
2  edge(10,12).
3  edge(10,11).
4  edge(11,10).
5  edge(13,11).
6  edge(11,13).
7
8  printedge(X,Y) :-    edge(X,Y), write("1 ").
9  printedge(X,Y) :- \+ edge(X,Y), write("0 ").
10
11 printmatrix :-
12     Li  member/2 (autoload from lists): True if Elem is a member of List.
13     member(Y, List),
14     nl,
15     member(X, List),
16     printedge(X,Y),
17     fail.
18
```

printmatrix.

```
0 1 1 0
1 0 0 1
1 0 0 0
0 1 0 0 false
```

```
?- printmatrix.
```

Examples | History | Solutions — table results — Run!

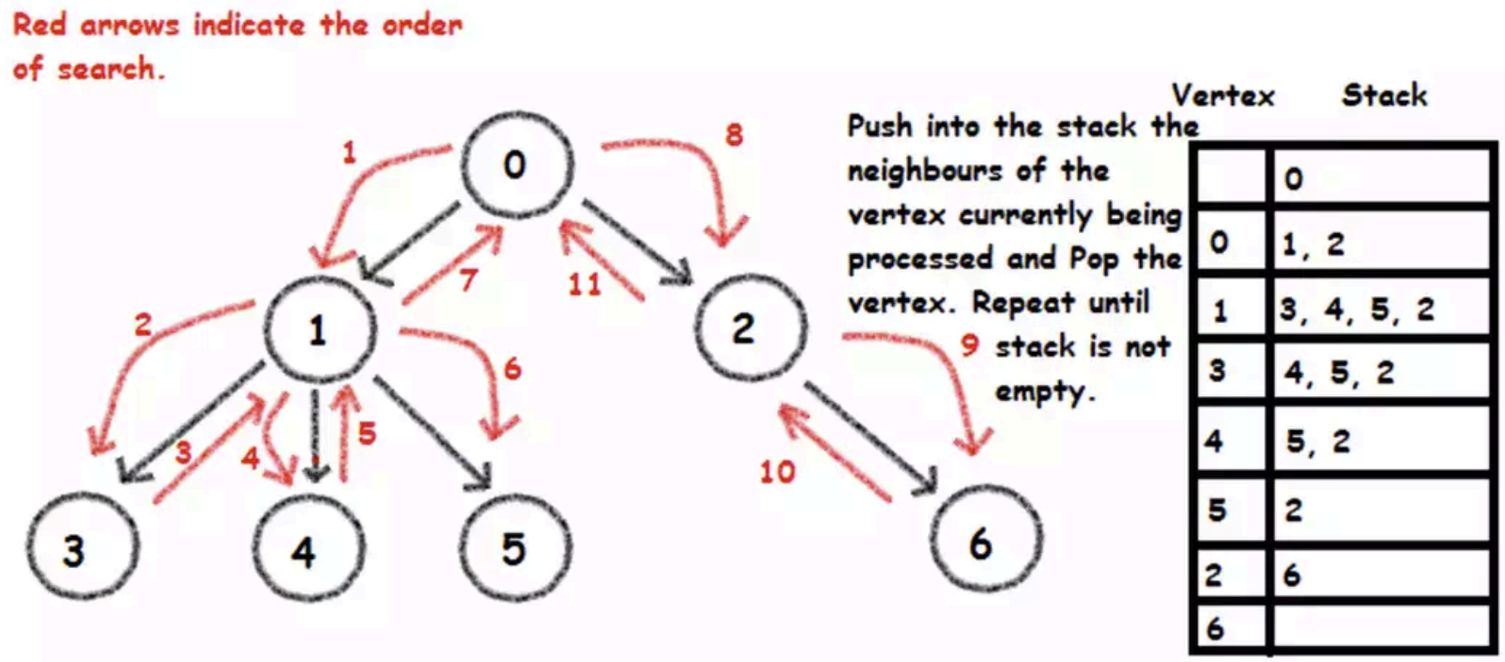
	10	11	12	13
10	0	1	1	0
11	1	0	0	1
12	1	0	0	0
13	0	1	0	0

Algoritmos de busca

Busca não informada - quando todos os nós gerados são igualmente promissores, ou não se tem informação sobre o seu potencial: busca em profundidade, busca em largura, busca de custo uniforme

Busca informada - quando conhecimento heurístico pode ser levantado que distingue entre os nós gerados em um mesmo nível da árvore.

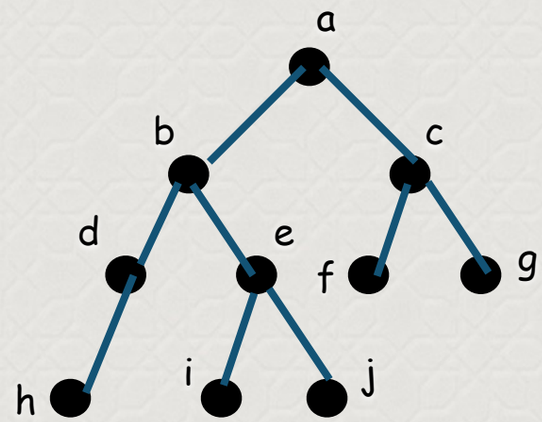
Busca em profundidade



A busca informada é um algoritmo interessante quando sabemos que a solução é uma das folhas. No exemplo abaixo temos uma árvore e estamos buscando nós que estão nas folhas.

Ainda na hipótese que podemos gerar todo o espaço de estados (o que não será possível na maioria dos problemas práticos) podemos representar o grafo ao lado pelas arestas:

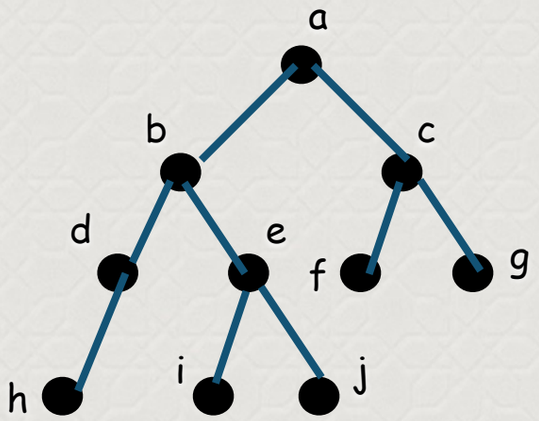
s(a,b).
s(a,c).
s(b,d).
s(b,e).
s(c,f).
s(c,g).
s(d,h).
s(e,i).
s(e,j).



Os objetivo de busca serão especificados diretamente no programa (no caso geral uma função de interface pode ser inserida para permitir que um usuário defina os objetivos de busca) :

```
goal(f).
goal(j).

s(a,b).
s(a,c).
s(b,d).
s(b,e).
s(c,f).
s(c,g).
s(d,h).
s(e,i).
s(e,j).
```



SWISH File Edit Examples Help

111 users online

Search

Tic-Tac-Toe | Program | Program

```
% solve( Node, Solution):
%    Solution is an acyclic path (in reverse order) between Node and a goal

solve( Node, Solution)  :-
  depthfirst( [], Node, Solution).

% depthfirst( Path, Node, Solution):
%   extending the path [Node | Path] to a goal gives Solution

depthfirst( Path, Node, [Node | Path] )  :-
   goal( Node).

depthfirst( Path, Node, Sol)  :-
  s( Node, Node1),
  \+ member( Node1, Path),                % Prevent a cycle
  depthfirst( [Node | Path], Node1, Sol).

depthfirst2( Node, [Node], _)  :-
   goal( Node).

depthfirst2( Node, [Node | Sol], Maxdepth)  :-
   Maxdepth > 0,
   s( Node, Node1),
   Max1 is Maxdepth - 1,
   depthfirst2( Node1, Sol, Max1).


goal(f).
goal(j).
s(a,b).
s(a,c).
s(b,d).
s(b,e).
s(c,f).
s(c,g).
```


solve(a,X).

X = [j, e, b, a]

X = [f, c, a]

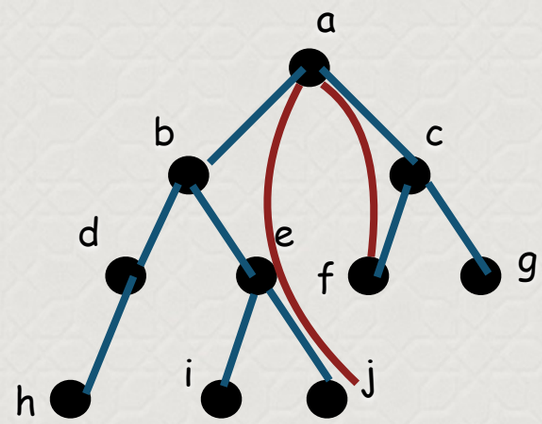
Next | 10 | 100 | 1,000 | Stop

?- solve(a,X).

Examples | History | Solutions | table results | Run!

goal(f).
goal(j).

s(a,b).
s(a,c).
s(b,d).
s(b,e).
s(c,f).
s(c,g).
s(d,h).
s(e,i).
s(e,j).

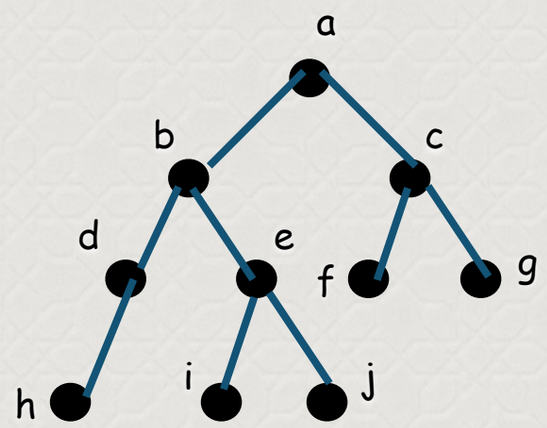


O resultado da busca é positivo, isto é o "goal" foi atingido, e o sistema devolve o caminho - na ordem invertida - desde o elemento alvo da busca até a raiz da árvore.

No caso do elemento "j" o caminho é a lista [j, e, b, a]. No caso do elemento "f" o caminho é a lista [f, c, a].

Vamos agora inserir um novo goal que é um elemento que não consta da estrutura descrita ao lado. O que se espera é que o programa Prolog falhe, isto é, termine com False.

```
goal(z)
goal(f).
goal(j).
s(a,b).
s(a,c).
s(b,d).
s(b,e).
s(c,f).
s(c,g).
s(d,h).
s(e,i).
s(e,j).
```



SWISH File Edit Examples Help — 105 users online — Search

Tic-Tac-Toe | Program | Program

```
4  solve( Node, Solution)  :-
5    depthfirst( [], Node, Solution).
6
7  % depthfirst( Path, Node, Solution):
8  %   extending the path [Node | Path] to a goal gives Solution
9
10 depthfirst( Path, Node, [Node | Path] )  :-
11    goal( Node).
12
13 depthfirst( Path, Node, Sol)  :-
14   s( Node, Node1),
15   \+ member( Node1, Path),                % Prevent a cycle
16   depthfirst( [Node | Path], Node1, Sol).
17
18 depthfirst2( Node, [Node], _)  :-
19    goal( Node).
20
21 depthfirst2( Node, [Node | Sol], Maxdepth)  :-
22    Maxdepth > 0,
23    s( Node, Node1),
24    Max1 is Maxdepth - 1,
25    depthfirst2( Node1, Sol, Max1).
26
27 goal(z).
28 goal(f).
29 goal(j).
30 s(a,b).
31 s(a,c).
32 s(b,d).
33 s(b,e).
34 s(c,f).
35 s(c,g).
36 s(d,h).
37 s(e,i).
38 s(e,j).
```


solve(a,X).

X = [j, e, b, a]
X = [f, c, a]
false

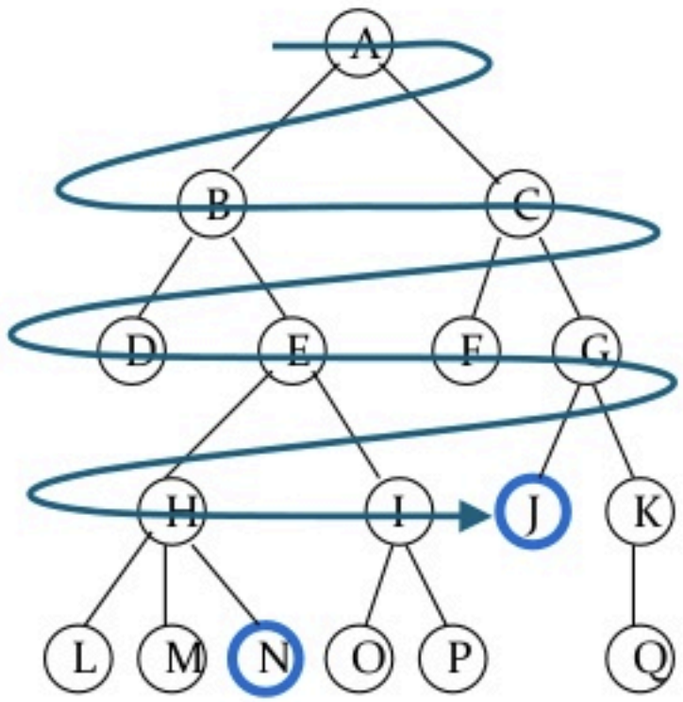
?- solve(a,X).

Examples | History | Solutions — table results — Run!

Outro algoritmo clássico de busca é a "busca em largura". Nesse caso temos uma estrutura organizada de modo que os elementos procurados estão muito provavelmente antes de se atingir as folhas. Portanto se privilegia a busca no mesmo nível da árvore ao invés da busca em profundidade.

Busca em largura

Breadth-first searching[1]



- A breadth-first search (BFS) explores nodes nearest the root before exploring nodes further away
- For example, after searching A, then B, then C, the search proceeds with D, E, F, G
- Node are explored in the order A B C D E F G H I J K L M N O P Q
- J will be found before N

Nas próximas aulas veremos

i) Brevemente a busca em largura ;
ii) Os algoritmos A e A*;
iii) busca bi-direcional;

Cronograma de entrega do trabalho em grupo

O cronograma de trabalho será dividido em "milestones":

Setembro 2019

webcid.com.br

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

7: Independência do Brasil 22: Início da primavera
06 - Quarto Crescente 14 - Lua Cheia 21 - Quarto Minguante 28 - Lua Nova

Outubro 2019

webcid.com.br

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

20: Início do horário de verão 12: Nsa. Sra. Aparecida 15: Dia dos Professores
05 - Quarto Crescente 13 - Lua Cheia 21 - Quarto Minguante 28 - Lua Nova

25/09 - início do processo, definição do domínio
02/10 - definição do algoritmo e implementação
09/10 - entrega do programa final
16/10 - competição

Até a próxima aula!