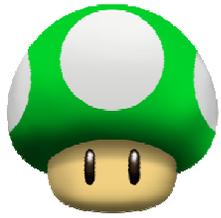


# INF 1771 – Inteligência Artificial

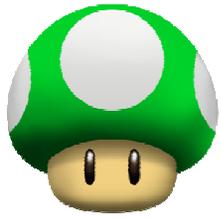
## Aula 09 – Prolog

Edirlei Soares de Lima  
<elima@inf.puc-rio.br>



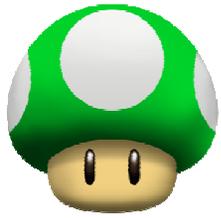
# Variáveis

- ❏ **Variáveis** são representadas através de cadeias de letras, números ou \_ sempre começando com letra maiúscula:
  - ❏ X, Resultado, Objeto3, Lista\_Alunos, ListaCompras...
- ❏ O **escopo de uma variável** é válido dentro de uma mesma regra ou dentro de uma pergunta.
  - ❏ Isto significa que se a variável X ocorre em duas regras/perguntas, então são duas variáveis distintas.
  - ❏ A ocorrência de X dentro de uma mesma regra/pergunta significa a mesma variável.



# Variáveis

- ❏ Uma variável pode estar:
  - ❏ **Instanciada:** Quando a variável já referencia (está unificada a) algum objeto.
  - ❏ **Livre ou não-instanciada:** Quando a variável não referencia (não está unificada a) um objeto.
- ❏ Uma vez instanciada, somente Prolog pode torná-la não-instanciada através de seu mecanismo de inferência (nunca o programador).



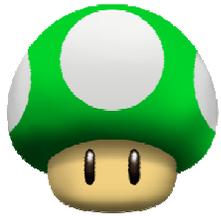
# Variável Anônima

- ❏ **Variáveis anônimas** podem ser utilizadas em sentenças cujo valor atribuído a variável não é importante. Por exemplo, a regra `tem_filho`:

```
Tem_filho(X) :- progenitor(X,Y).
```

- ❏ Para relação “ter filhos” não é necessário saber o nomes dos filhos. Neste caso utiliza-se uma variável anônima representada por “\_”.

```
Tem_filho(X) :- progenitor(X,_).
```



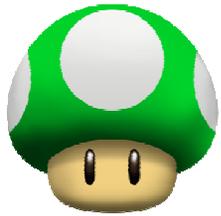
# Variável Anônima

- ❏ Cada vez que uma variável anônima aparece em uma cláusula, ele representa uma **nova variável** anônima. Por exemplo:

```
alguém_tem_filho :- progenitor(_,_).
```

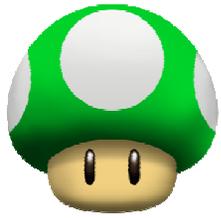
- ❏ É equivalente à:

```
alguém_tem_filho :- progenitor(X,Y).
```



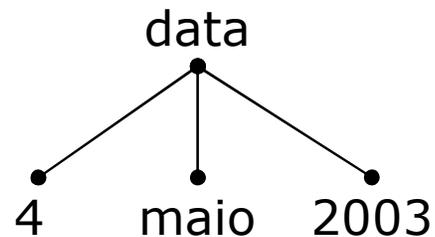
# Estruturas

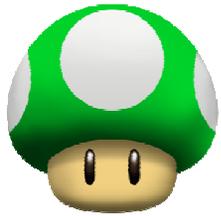
- ❏ **Objetos estruturados** são objetos de dados com vários componentes.
- ❏ Cada componente da estrutura pode ser outra estrutura.
- ❏ Por exemplo, uma data pode ser vista como uma estrutura com três componentes: dia, mês, ano.
  - ❏ `data(4,maio,2003)`



# Estruturas

- ❏ Todos os objetos estruturados são representados como **árvores**.
- ❏ A raiz da árvore é o functor e os filhos da raiz são os componentes.
- ❏ `data(4,maio,2003)`:

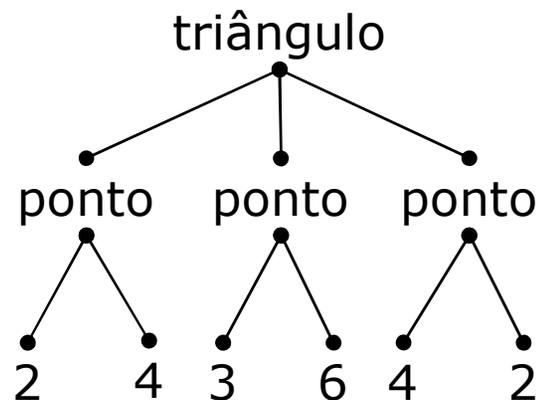
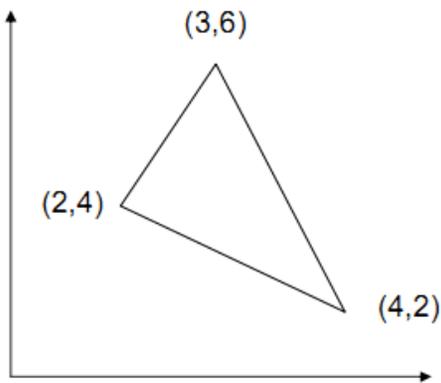


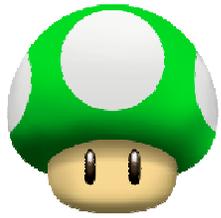


# Estruturas

Um triângulo pode ser representado da seguinte forma:

triângulo(ponto(2,4), ponto(3,6), ponto(4,2))

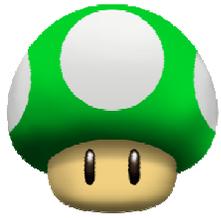




# Operadores

<b>Operadores Aritméticos</b>	
Adição	+
Subtração	-
Multiplicação	*
Divisão	/
Divisão Inteira	//
Resto da Divisão	Mod
Potência	**
Atribuição	is

<b>Operadores Relacionais</b>	
$X > Y$	X é maior do que Y
$X < Y$	X é menor do que Y
$X \geq Y$	X é maior ou igual a Y
$X \leq Y$	X é menor ou igual a Y
$X ::= Y$	X é igual a Y
$X = Y$	X unifica com Y
$X \neq Y$	X é diferente de Y



# Operadores

- ❏ O operador "=" realiza apenas a unificação de termos:

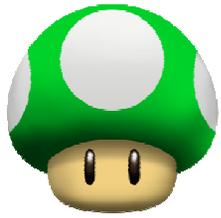
?- X = 1 + 2.

X = 1 + 2

- ❏ O operador "is" força a avaliação aritmética:

?- X is 1 + 2.

X = 3



# Operadores

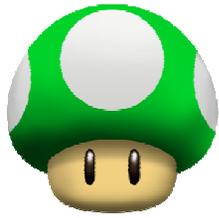
- Se a variável à esquerda do operador "is" já estiver instanciada, o Prolog apenas compara o valor da variável com o resultado da expressão à direita de "is":

?- X = 3, X is 1 + 2.

X = 3

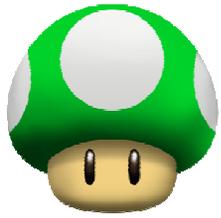
?- X = 5, X is 1 + 2.

false



# Unificação de Termos

- ❏ Dois termos se unificam (matching) se:
  - ❏ Eles são idênticos ou as variáveis em ambos os termos podem ser instanciadas a objetos de maneira que após a substituição das variáveis os termos se tornam idênticos.
- ❏ Por exemplo, existe a unificação entre os termos **data(D,M,2003)** e **data(D1,maio,A)** instanciando  $D = D1$ ,  $M = maio$ ,  $A = 2003$ .



# Unificação de Termos

$\text{data}(D,M,2003) = \text{data}(D1,\text{maio},A), \text{data}(D,M,2003) = \text{data}(15,\text{maio},A1).$

$D = 15$

$M = \text{maio}$

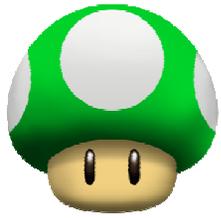
$D1 = 15$

$A = 2003$

$A1 = 2003$

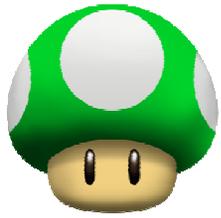
❗ Por outro lado, **não existe** unificação entre os termos:

$\text{data}(D,M,2003), \text{data}(D1,M1,1948)$



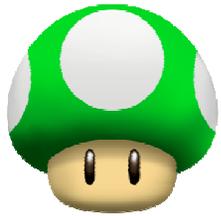
# Unificação de Termos

- ❏ A **unificação** é um processo que toma dois termos e verifica se eles unificam:
  - ❏ Se os termos não unificam, o processo falha (e as variáveis não se tornam instanciadas).
  - ❏ Se os termos unificam, o processo tem sucesso e também instancia as variáveis em ambos os termos para os valores que os tornam idênticos.



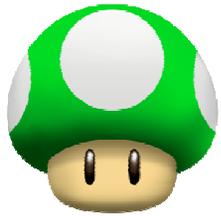
# Unificação de Termos

- ❏ As regras que regem se dois termos  $S$  e  $T$  unificam são:
  - ❏ Se  $S$  e  $T$  são constantes, então  $S$  e  $T$  unificam somente se são o mesmo objeto.
  - ❏ Se  $S$  for uma variável e  $T$  for qualquer termo, então unificam e  $S$  é instanciado para  $T$ .
  - ❏ Se  $S$  e  $T$  são estruturas, elas unificam somente se
    - ❏  $S$  e  $T$  têm o mesmo functor principal.
    - ❏ Todos seus componentes correspondentes unificam.



# Comparação de Termos

<b>Operadores Relacionais</b>	
$X = Y$	X unifica com Y, é verdadeiro quando dois termos são o mesmo. Entretanto, se um dos termos é uma variável, o operador = causa a instanciação da variável.
$X \neq Y$	X não unifica com Y
$X == Y$	X é literalmente igual a Y (igualdade literal), que é verdadeiro se os termos X e Y são idênticos, ou seja, eles têm a mesma estrutura e todos os componentes correspondentes são os mesmos, incluindo o nome das variáveis.
$X \neq Y$	X não é literalmente igual a Y que é o complemento de $X == Y$



# Comparação de Termos

?-  **$f(a,b) == f(a,b)$** .

true

?-  **$f(a,b) == f(a,X)$** .

false

?-  **$f(a,X) == f(a,Y)$** .

false

?-  **$X == X$** .

true

?-  **$X == Y$** .

false

?-  **$X \backslash == Y$** .

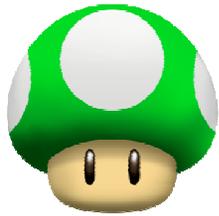
true

?-  **$X \backslash = Y$** .

false

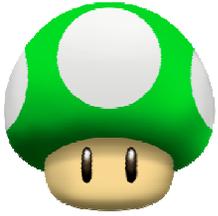
?-  **$g(X,f(a,Y)) == g(X,f(a,Y))$** .

true



## Predicados para Verificação de Tipos de Termos

<b>Predicado</b>	<b>Verdadeiro se:</b>
var(X)	X é uma variável não instanciada
nonvar(X)	X não é uma variável ou X é uma variável instanciada
atom(X)	X é um átomo
integer(X)	X é um inteiro
float(X)	X é um número real
atomic(X)	X é uma constante (átomo ou número)
compound(X)	X é uma estrutura



## Predicados para Verificação de Tipos de Termos

**?- var(Z), Z = 2.**

Z = 2

**?- Z = 2, var(Z).**

false

**?- integer(Z), Z = 2.**

false

**?- Z = 2, integer(Z), nonvar(Z).**

Z = 2

**?- atom(3.14).**

false

**?- atomic(3.14).**

true

**?- atom(==>).**

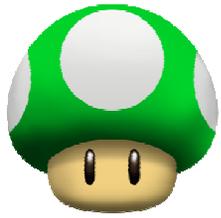
true

**?- atom(p(1)).**

false

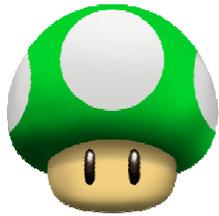
**?- compound(2+X).**

true



# Exemplo: Macaco e as Bananas

- Um macaco encontra-se próximo à porta de uma sala. No meio da sala há uma banana pendurada no teto. O macaco tem fome e quer comer a banana mas ela está a uma altura fora de seu alcance. Perto da janela da sala encontra-se uma caixa que o macaco pode utilizar para alcançar a banana. O macaco pode realizar as seguintes ações:
  - Caminhar no chão da sala;
  - Subir na caixa (se estiver ao lado da caixa);
  - Empurrar a caixa pelo chão da sala (se estiver ao lado da caixa);
  - Pegar a banana (se estiver parado sobre a caixa diretamente embaixo da banana).



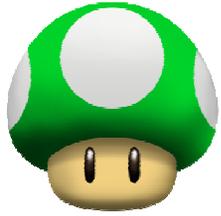
# Exemplo: Macaco e as Bananas

- É conveniente combinar essas 4 informações em uma **estrutura de estado**:



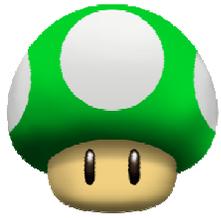
- O estado inicial é determinado pela posição dos objetos.
- O estado final é qualquer estado onde o último componente da estrutura é o átomo tem:

estado(\_\_\_\_,tem)



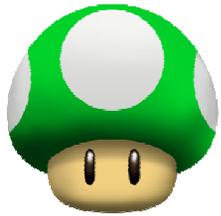
# Exemplo: Macaco e as Bananas

- ❏ Possíveis valores para os argumentos da **estrutura estado**:
  - ❏ **1º argumento** (posição horizontal do macaco):  
na\_porta, no\_centro, na\_janela
  - ❏ **2º argumento** (posição vertical do macaco):  
no\_chão, acima\_caixa
  - ❏ **3º argumento** (posição da caixa):  
na\_porta, no\_centro, na\_janela
  - ❏ **4º argumento** (macaco tem ou não tem banana):  
tem, não\_tem



# Exemplo: Macaco e as Bananas

- ❏ **Movimentos permitidos** que alteram o mundo de um estado para outro:
  - ❏ Pegar a banana;
  - ❏ Subir na caixa;
  - ❏ Empurrar a caixa;
  - ❏ Caminhar no chão da sala;
  
- ❏ **Nem todos os movimentos são possíveis** em cada estado do mundo. Por exemplo, “pegar a banana” somente é possível se o macaco estiver em cima da caixa, diretamente em baixo da banana e o macaco ainda não possuir a banana.

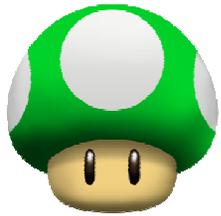


# Exemplo: Macaco e as Bananas

- Formalizando o problema em Prolog é possível estabelecer a seguinte relação:

`move(Estado1,Movimento,Estado2)`

- Onde:
  - Estado1 é o estado antes do movimento (**pré-condição**);
  - Movimento é o movimento executado;
  - Estado2 é o estado após o movimento;

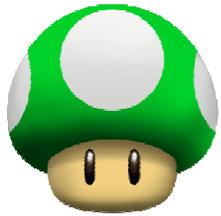


## Exemplo: Macaco e as Bananas

- ❏ O movimento “pegar a banana” pode ser definido por:

```
move(  
    estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),  
    pegar_banana,  
    estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, tem)  
).
```

- ❏ Este fato diz que após o movimento “pegar\_banana” o macaco tem a banana e ele permanece em cima da caixa no meio da sala.

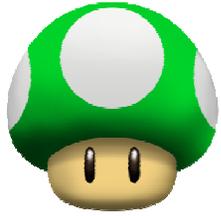


## Exemplo: Macaco e as Bananas

- ❏ Também é necessário expressar o fato que o macaco no chão pode caminhar de qualquer posição horizontal "Pos1" para qualquer posição "Pos2":

```
move(  
    estado(Pos1, no_chão, Caixa, Banana),  
    caminhar(Pos1,Pos2),  
    estado(Pos2, no_chão, Caixa, Banana)  
).
```

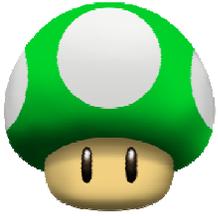
- ❏ De maneira similar, é possível especificar os movimentos "empurrar" e "subir".



## Exemplo: Macaco e as Bananas

- ❓ A pergunta principal que o programa deve responder é:

O macaco consegue, a partir de um **estado inicial**, pegar as bananas?



# Exemplo: Macaco e as Bananas

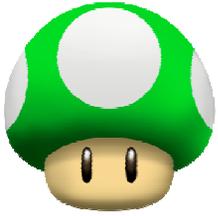
- Para isso é necessário formular duas regras que definam **quando o estado final é alcançável**:

- Para qualquer estado no qual o macaco já tem a banana**, o predicado "consegue" certamente deve ser verdadeiro e nenhum movimento é necessário:

```
consegue(estado(_,_,_,tem)).
```

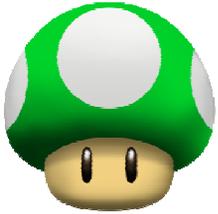
- Nos demais casos**, um ou mais movimentos são necessários; o macaco pode obter a banana em qualquer estado "Estado1" se existe algum movimento de "Estado1" para algum estado "Estado2" tal que o macaco consegue pegar a banana no "Estado2":

```
consegue(Estado1) :- move(Estado1, Movimento, Estado2), consegue(Estado2).
```



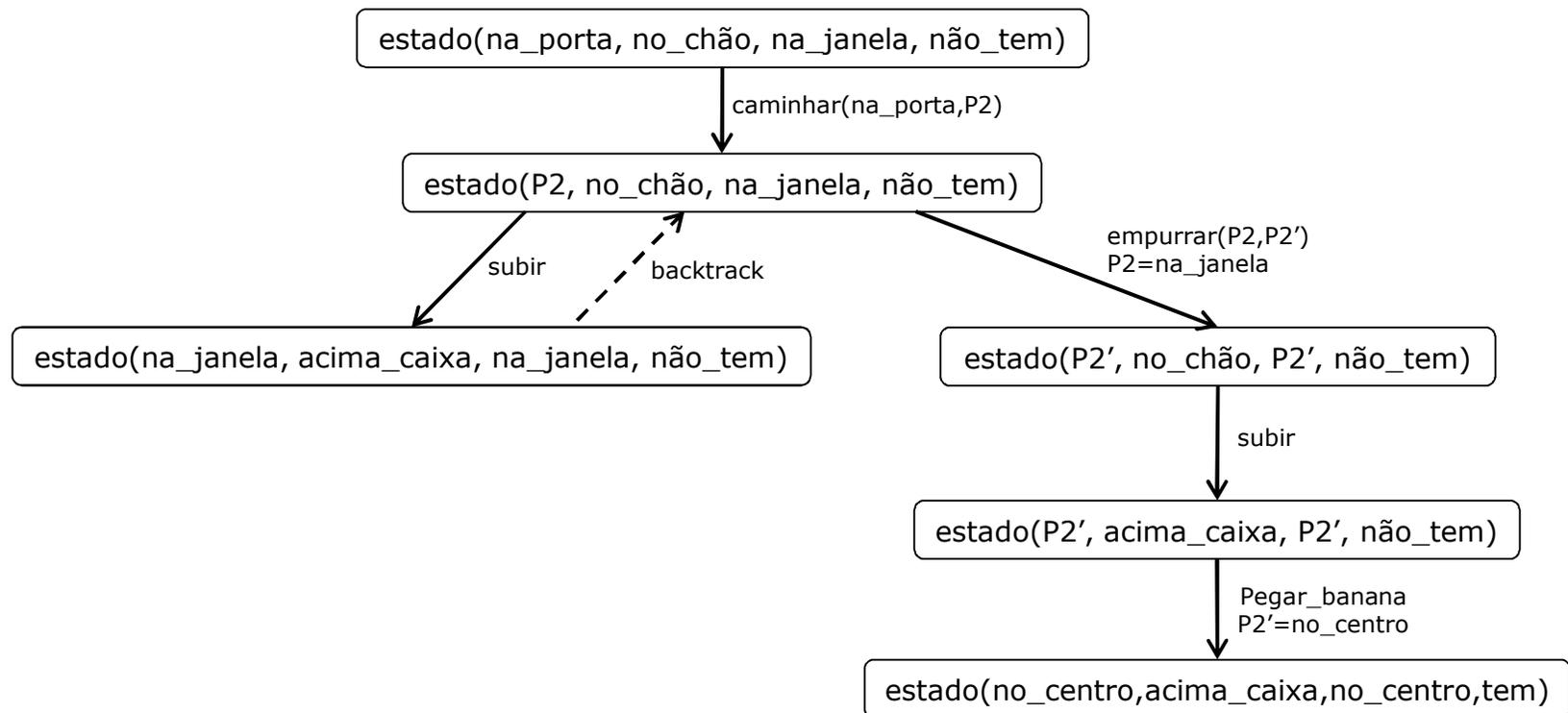
# Exemplo: Macaco e as Bananas

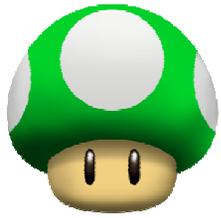
```
move(
    estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
    pegar_banana,
    estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, tem)
).
move(
    estado(P, no_chão, P, Banana),
    subir,
    estado(P, acima_caixa, P, Banana)
).
move(
    estado(P1, no_chão, P1, Banana),
    empurrar(P1, P2),
    estado(P2, no_chão, P2, Banana)
).
move(
    estado(P1, no_chão, Caixa, Banana),
    caminhar(P1, P2),
    estado(P2, no_chão, Caixa, Banana)
).
consegue(estado(_, _, _, tem)).
consegue(Estado1) :- move(Estado1, Movimento, Estado2), consegue(Estado2).
```



# Exemplo: Macaco e as Bananas

?- consegue(estado(na\_porta, no\_chão, na\_janela, não\_tem)).

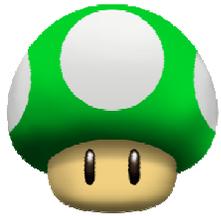




# Listas

- ❏ **Lista** é uma das estruturas mais simples em Prolog e pode ser aplicada em diversas situações.
- ❏ Uma lista pode ter qualquer comprimento.
- ❏ Uma lista contendo os elementos "ana", "tênis" e "pedro" pode ser escrita em Prolog como:

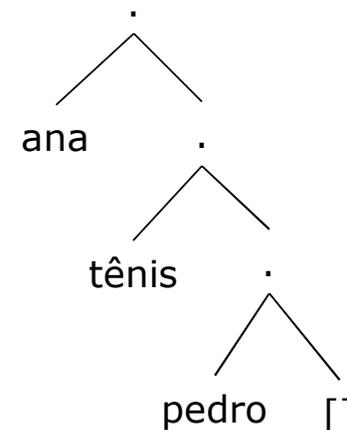
[ana, tênis, pedro]

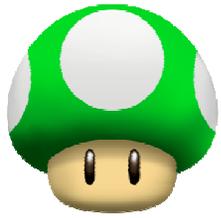


# Listas

- ❏ O uso de colchetes é apenas uma melhoria da notação, pois internamente listas são representadas como árvores, assim como todos objetos estruturados em Prolog.
- ❏ Internamente o exemplo [ana, tênis, pedro] é representando da seguinte maneira:

`.(ana, .(tênis, .(pedro, [])) )`





# Listas

?- Lista1 = [a,b,c], Lista2 = .(a,.(b,.(c,[ ]))).

Lista1 = [a, b, c]

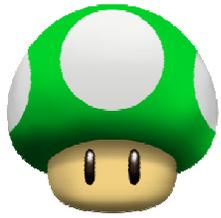
Lista2 = [a, b, c]

?- Hobbies1 = .(tênis, .(música,[ ])), Hobbies2 = [esqui, comida], L = [ana,Hobbies1,pedro,Hobbies2].

Hobbies1 = [tênis,música]

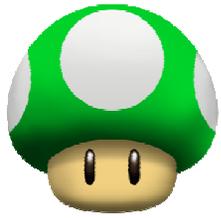
Hobbies2 = [esqui,comida]

L = [ana, [tênis,música], pedro, [esqui,comida]]



# Listas

- ❏ Para entender a representação de listas do Prolog, é necessário considerar dois casos:
  - ❏ Lista vazia [].
  - ❏ E lista não vazia, onde:
    - ❏ O primeiro item é chamado de cabeça (head) da lista.
    - ❏ A parte restante da lista é chamada cauda (tail).
- ❏ No exemplo [ana, tênis, pedro]:
  - ❏ ana é a Cabeça da lista.
  - ❏ [tênis, pedro] é a Cauda da lista.



# Listas

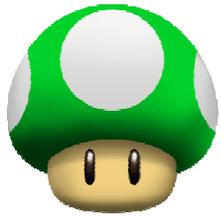
- Em geral, é comum tratar a cauda como um objeto simples. Por exemplo,  $L = [a,b,c]$  pode ser escrito como:

Cauda =  $[b,c]$

$L = [a, \text{Cauda}]$

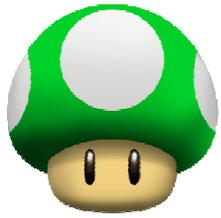
- O Prolog também fornece uma notação alternativa para separar a cabeça da cauda de uma lista, a barra vertical:

$L = [a \mid \text{Cauda}]$



# Operações em Listas – Busca

- ❏ Frequentemente existe a necessidade de se realizar operações em listas, por exemplo, buscar um elemento que faz parte de uma lista.
- ❏ Para verificar se um nome está na lista, é preciso verificar se ele está na cabeça ou se ele está na cauda da lista.



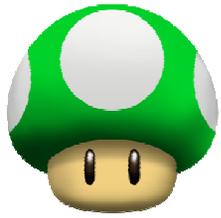
# Operações em Listas – Busca

- ❏ A primeira regra para verificar se um elemento X pertence à lista é **verificar se ele se encontra na cabeça da lista**. Isto pode ser especificado da seguinte maneira:

`pertence(X,[X|Z]).`

- ❏ A segunda condição deve **verificar se o elemento X pertence à cauda da lista**. Esta regra pode ser especificada da seguinte maneira:

`pertence(X,[W|Z]) :- pertence(X,Z).`



# Operações em Listas – Busca

- ❏ O programa para buscar por um item em uma lista pode ser escrito da seguinte maneira:

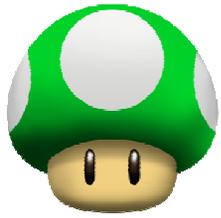
```
pertence(Elemento,[Elemento|Cauda]).
```

```
pertence(Elemento,[Cabeça|Cauda]) :- Pertence(Elemento,Cauda).
```

- ❏ Após a definição do programa, é possível interrogá-lo.

```
?- pertence(a,[a,b,c]).
```

```
true
```



# Operações em Listas – Busca

**?- pertence(d,[a,b,c]).**

false

**?- pertence(X,[a,b,c]).**

X = a ;

X = b ;

X = c ;

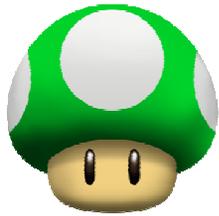
false

❏ E se as perguntas forem:

?- pertence(a,X).

?- pertence(X,Y).

❏ Existem infinitas respostas.



## Operações em Listas - Último Elemento

- ❏ O último elemento de uma lista que tenha somente um elemento é o próprio elemento:

```
ultimo(Elemento, [Elemento]).
```

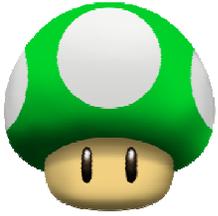
- ❏ O último elemento de uma lista que tenha mais de um elemento é o último elemento da cauda:

```
ultimo(Elemento, [Cabeca|Cauda]) :- ultimo(Elemento, Cauda).
```

- ❏ Programa completo:

```
ultimo(Elemento, [Elemento]).
```

```
ultimo(Elemento, [Cabeca|Cauda]) :- ultimo(Elemento, Cauda).
```



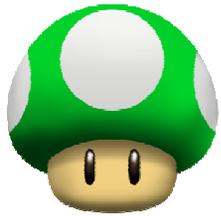
## Operações em Listas – Concatenação

- Se o primeiro argumento é uma lista vazia, então o segundo e terceiro argumentos devem ser o mesmo

`concatenar([ ],L,L).`

- Se o primeiro argumento é uma lista não-vazia, então ela tem uma cabeça e uma cauda da forma `[X|L1]`; concatenar `[X|L1]` com uma segunda lista `L2` resulta na lista `[X|L3]`, onde `L3` é a concatenação de `L1` e `L2`.

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

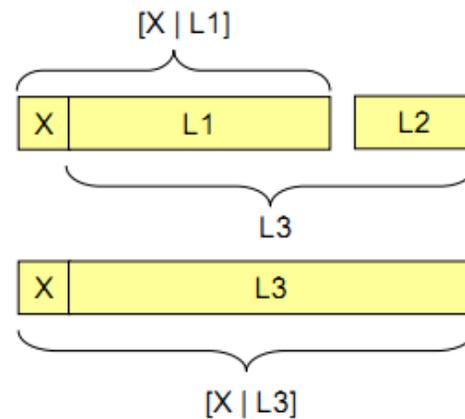


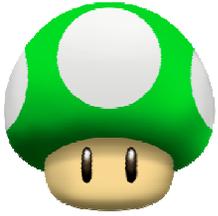
# Operações em Listas – Concatenação

❏ Programa completo:

```
concatenar([ ], L, L).
```

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





# Exemplo: Macaco e as Bananas

```
move(
    estado(no_centro, acima_caixa, no_centro, não_tem),
    pegar_banana,
    estado(no_centro,acima_caixa,no_centro,tem)
).
move(
    estado(P,no_chão,P,Banana),
    subir,
    estado(P,acima_caixa,P,Banana)
).
move(
    estado(P1,no_chão,P1,Banana),
    empurrar(P1,P2),
    estado(P2,no_chão,P2,Banana)
).
move(
    estado(P1,no_chão,Caixa,Banana),
    caminhar(P1,P2),
    estado(P2,no_chão,Caixa,Banana)
).
consegue(estado(_,_,_,tem),[]).
consegue(Estado1,[Movimento|Resto]) :- move(Estado1,Movimento,Estado2), consegue(Estado2,Resto).
```