# Programação Lógica

Profa. Heloisa de Arruda Camargo
1º. Sem. 2009



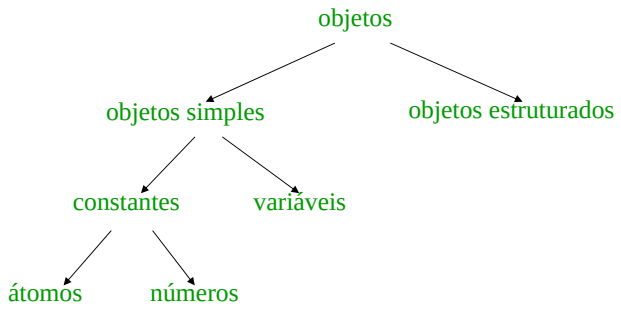
## PROLOG PROgramming in LOGic

Linguagem de Programação Baseada no Cálculo de Predicado de Primeira Ordem

- Apropriada à:
  - processamento simbólico, não numérico
  - resolução de problemas que envolvam objetos e relações entre objetos
- Mecanismos Básicos:
  - casamento de padrão
  - estruturas de listas
  - Retrocesso (backtracking) automático



# Objetos de Dados






## Objetos de Dados

- **Átomos** - cadeias de letras maiúsculas, letras minúsculas, dígitos e caracteres especiais construídas como:
  - cadeias de letras, dígitos e o caracter"_" (underscore), começando com letra minúscula
  - cadeia de caracteres especiais: ::=, <-->, etc.
  - cadeia de caracteres entre apóstrofes

  Ex: maria, a, x, elemento, a1, cubo_1, ponto_a

## Objetos de Dados

- **Números -** sintaxe usual

  Exemplos:
  - inteiros: 1, -25, 4851, -9556
  - ponto flutuante: 1.55, -0.55, 84.756, 4.1

- **Variáveis** - cadeias de letras, dígitos e caracter "_ ", começando com letra maiúscula ou com o caracter "_ "

  Ex: X, X1, Lista1, _abc, YZW, A123



## Objetos de Dados

- **Estruturas ou Objetos Estruturados -** são objetos de dados que tem vários componentes, podendo cada um deles, por sua vez ser uma estrutura.

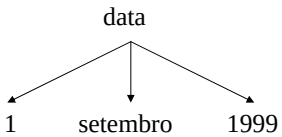
- A combinação dos componentes é feita através do **funtor**, que dá um nome para a estrutura:

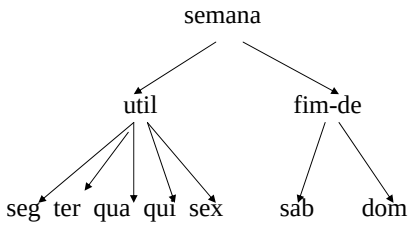
  - data(1, setembro, 1999)
  - par(primeiro,segundo)
  - semana(seg,ter,qua,qui,sex,sab,dom)
  - semana(util(seg,ter,qua,qui,sex), fim-de(sab,dom))
  - autor('Russel & Norvig')
  - livro(titulo('Inteligencia Artificial'), autor('G. Bittencourt'))



Objetos Estruturados podem ser representados em forma de árvore:

- raiz = funtor
- filhos = componentes






## Relações ou Predicados

- Componente principal das construções do Prolog
- Descrevem algum tipo de ligação entre objetos

  - pai_de(joao,pedro)
  - bonita(maria)
  - gosta_de(ana,vinho)
  - maior(5,4,3,2,1)
  - pequeno(gato)
  - sobre(cubo_a, cubo_b)
  - soma(5,2,7)

## Relações ou Predicados

- **Predicado X Estrutura**
  - Estruturas são formalmente idênticas aos predicados
  - Todo predicado é uma estrutura
  - Nem toda estrutura é um predicado
  - Um predicado é uma estrutura que declara coisas que podem ser verdadeiras ou falsas
  - Estruturas que nomeiam objetos não fazem declarações e não podem ser verdadeiras ou falsas



## Programa

- **Um Programa Prolog consiste de:**
  - **Fatos**
  - **Regras**
  - **Consultas**



## Fatos

- Um fato é uma declaração de que uma determinada relação existe entre certos objetos.
  - pai_de(joao, pedro).
  - bonita(maria).
  - gosta_de(ana, vinho).
  - maior(5, 4, 3, 2, 1).
  - gosta(X, vinho). (fatos universais)
  - vezes(0, X, 0).
- **Base de Dados:** conjunto de fatos



## Exemplo 1: FAMÍLIA REAL

```
% base de dados
pai_de(henrique_pai, henrique).          %1
pai_de(henrique_pai, maria).             %2
pai_de(henrique, elizabeth2).            %3
pai_de(henrique, eduardo).               %4
homem(henrique_pai).                     %5
homem(henrique).                         %6
homem(eduardo).                          %7
mulher(catarina).                        %8
mulher(elizabeth1).                      %9
mulher(maria).                           %10
mulher(elizabeth2).                      %11
mulher(ana).                             %12
mulher(jane).                            %13
mae_de(catarina, maria).                 %14
mae_de(ana, elizabeth2).                 %15
mae_de(jane, eduardo).                   %16
mae_de(elizabeth1, henrique).            %17
```

# Consultas

- São o meio de recuperar informação em um programa lógico. Podem ser de dois tipos:
  - Confirmação
  - Recuperação

**1) Confirmação** - a busca é realizada até encontrar uma resposta, confirmando ou negando o que foi perguntado.

```
| ?- pai_de(henrique,eduardo).
yes
```



# Consultas

**2) Recuperação** - todos os valores que satisfazem a consulta são recuperados

```
| ?- pai_de(X,maria).

    X = henrique_pai ;

    no

| ?- pai_de(henrique,X).

    X = elizabeth2 ;

    X = eduardo
```

```
| ?- pai_de(X,eduardo).

    X = henrique

| ?- mae_de(X,henrique).

    X = elizabeth1

| ?- mae_de(X,maria).

    X = catarina;

    no
```



```
| ?- mae_de(catarina,X).
    X = maria

| ?- mae_de(X,catarina).
    no
```

```
| ?-mae_de(X,Y).
    X = catarina ,
    Y = maria ;
    X = ana ,
    Y = elizabeth2 ;
    X = jane ,
    Y = eduardo ;
    X = elizabeth1 ,
    Y = henrique
```



# Consultas Compostas

São interpretadas como conjunção.

```
| ?- pai_de(X,elizabeth2),pai_de(X,eduardo).
```

*(Existe um valor para X que torne as duas partes da consulta verdadeiras ao mesmo tempo?)*

```
X = henrique  ;
no
```

| ?- pai_de(X,eduardo),pai_de(Y,X).
*(Quem é o avô de eduardo?)*
X = henrique ,
Y = henrique_pai ;
no

| ?- pai_de(henrique_pai,X),pai_de(X,Y).
*(Quem são os netos de henrique_pai?)*
X = henrique ,
Y = elizabeth2 ;
X = henrique ,
Y = eduardo ;
no



# Unificação

- Dois termos **unificam** se:

1) são idênticos, ou
2) as variáveis em ambos os termos podem ser **instanciadas** em objetos de tal forma que após a substituições das variáveis por esse objetos os termos se tornam idênticos.

- Exemplos:

Termo 1 : data(25,maio, Ano)
Termo 2 : data(D,maio,1983)
Resultado : D = 25
Ano = 1983



# Unificação

Termo 1 : data(D1,abril, A)
Termo 2 : data(D2,M,1900)
Resultado : D1 = D2
M = abril
A = 1900

Termo 1: pai_de(henrique, filhos(eduardo,elizabeth2))
Termo 2: pai_de(henrique,X)
Resultado: X = filhos(eduardo,elizabeth2)



# Unificação

- Regras para decidir se dois termos unificam:

1) Se S e T são constantes então S e T unificam se e só se são o mesmo objeto;

2) se S é uma variável e T é qualquer termo, então unificam e S é instanciada com T; vice-versa com a variável T instanciada com S;

3) se S e T são estruturas, elas unificam se e só se S e T tem o mesmo funtor principal e todos os elementos correspondentes unificam.

| Termo 1 | Termo 2 | Resultado da Unificação |
|---|---|---|
| henrique | henrique | unificam |
| eduardo | henrique | não unificam |
| X | par(a,b) | X = par(a,b) |
| 2.35 | Y | Y = 2.35 |
| data(25,maio,Ano) | data(D,maio,1983) | D = 15<br>Ano = 1983 |
| data(D1,abril,A) | data(D2,M,1900) | D1 = D2<br>M = abril<br>A = 1900 |
| data(17,marco,2000) | date(17,M,2000) | não unificam |
| pai_de(X,eduardo) | pai_de(henrique,Y) | X = henrique<br>Y = eduardo |



# Regras

- Permitem definir novas relações em termos das já existentes.

  Definir as relações de *filho* e *filha*:

  filho_de(Y,X) :- pai_de(X,Y), homem(Y).
  filha_de(Y,X) :- pai_de(X,Y), mulher(X).

  Definir a relação de avô:

  avo_de(X,Z) :- pai_de(X,Y), pai_de(Y,Z).



# Regras

**Forma Geral:**

**A :- B1, B2, ....., Bn.**

corpo

cabeça

A - objetivo, meta
Bi - sub-objetivos, condições
Para provar A provamos B1, B2,...., Bn

- **Base de Conhecimento:**
  conjunto de regras



# Cláusulas

- Regras,
- Fatos e
- Consultas

são chamadas **Cláusulas de Horn**, ou somente **Cláusulas**

## Exemplo 1: FAMÍLIA REAL

```
% base de dados
pai_de(henrique_pai, henrique).          %1
pai_de(henrique_pai, maria).             %2
pai_de(henrique, elizabeth2).            %3
pai_de(henrique, eduardo).               %4
homem(henrique_pai).                     %5
homem(henrique).                         %6
homem(eduardo).                          %7
mulher(catarina).                        %8
mulher(elizabeth1).                      %9
mulher(maria).                           %10
mulher(elizabeth2).                      %11
mulher(ana).                             %12
mulher(jane).                            %13
mae_de(catarina, maria).                 %14
mae_de(ana, elizabeth2).                 %15
mae_de(jane, eduardo).                   %16
mae_de(elizabeth1, henrique).            %17
```



```
%base de conhecimento

filho_de(Y,X) :- pai_de(X,Y), homem(Y).          %18
pai_ou_mae(X,Y) :- pai_de(X,Y).                  %19
pai_ou_mae(X,Y) :- mae_de(X,Y).                  %20
predecessor(X,Y) :- pai_ou_mae(X,Y).             %21
predecessor(X,Y) :- pai_ou_mae(X,Z),
                    predecessor(Z,Y).            %22
```



## Como o programa Prolog usa as regras:

- Colocada a consulta:
  **| ?- filho_de(eduardo,henrique).**

Não há no programa fatos sobre a relação filho_de.
É necessário usar as regras

- A consulta é comparada com a cabeça das regras que definem a relação filho_de, na seqüência.
- Ocorre uma unificação entre a consulta e a cabeça da regras %18, com as instanciações:
  Y = eduardo
  X = henrique



A regra fica:

**filho_de(eduardo,henrique):-**
**pai_de(henrique,eduardo), homem(eduardo)**

- O objetivo é substituído pelos sub-objetivos:
  pai_de(henrique,eduardo), homem(eduardo)

  que devem ser verdadeiros ao mesmo tempo.

- Os sub-objetivos são provados, pois são fatos no programa.

Logo, o objetivo também é verdadeiro e a resposta é:
yes.

## Mais de uma regra sobre a mesma relação:

- Duas ou mais regras sobre a mesma relação indicam formas alternativas de provar um objetivo, portanto correspondem ao operador “ou”.

```
pai_ou_mae(X,Y) :- pai_de(X,Y).          %19
pai_ou_mae(X,Y) :- mae_de(X,Y).          %20
```

```
| ?- pai_ou_mae(X,elizabeth2).
X = henrique ;
X = ana ;
no
```



## Mais de uma regra sobre a mesma relação:

```
| ?- pai_ou_mae(X,eduardo).
     X = henrique ;
     X = jane ;
     No
| ?- pai_ou_mae(jane,X).
     X = eduardo

| ?- pai_ou_mae(henrique,Y).
     Y = elizabeth2 ;
     Y = eduardo ;
     no
```



# Regras Recursivas

- Recursão: operação em que um objeto é usado em sua própria definição.
- Regras recursivas: definidas em termos delas mesmas.
- Exemplo: Definir a relação de *predecessor*
  Considerar a base Família Real

```
pai_ou_mae(X,Y) :- pai_de(X,Y).          %19
pai_ou_mae(X,Y) :- mae_de(X,Y).          %20
predecessor(X,Y) :- pai_ou_mae(X,Y).     %21
predecessor(X,Y) :- pai_ou_mae(X,Z),
                    predecessor(Z,Y).    %22
```



```
| ?- predecessor(henrique_pai,X).
X = henrique ;
X = maria ;
X = elizabeth2 ;
X = eduardo ;
no

| ?- predecessor(X,henrique). X = henrique_pai ;
X = elizabeth1 ;
no

| ?- predecessor(X,eduardo).
X = henrique ;
X = jane ;
X = henrique_pai ;
X = elizabeth1 ;
no
```

# Exemplo

- Definir a relação de *predecessor*
  Considerar a base Família Real

```
predecessor(X,Y) :- pai_de(X,Y).          %23
predecessor(X,Y) :- pai_de(X,Z),
                    predecessor(Z,Y).     %24
```



# Observação 1:

Variáveis DIFERENTES em uma mesma cláusula PODEM assumir o mesmo valor

Exemplo: Definir a relação de irmã

```
pai_ou_mae(tom,bob).
pai_ou_mae(tom,liz).
pai_ou_mae(bob,ana).
pai_ou_mae(bob,pat).
pai_ou_mae(pat,jim).]
mulher(ana).
mulher(pat).
irma(X,Y) :- pai_ou_mae(Z,X),
             pai_ou_mae(Z,Y),
              mulher(Y).
```



- Consulta:

```
| ?- irma(pat,X).
X = ana ;
X = pat ;
no
```

A segunda resposta significa Pat é irmã dela mesma.

O Prolog inclui essa resposta porque não há restrição de que X e Y devam ser diferentes.



# Observação 2:

- Escopo de Variáveis:

O escopo de todas as variáveis é limitado a uma única cláusula.

Não existem variáveis globais.

```
pai_ou_mae(tom,bob).
    pai_ou_mae(tom,liz).
    pai_ou_mae(bob,ana).
    pai_ou_mae(bob,pat).
    pai_ou_mae(bob,joe).
    pai_ou_mae(pat,jim).
    mulher(ana).
    mulher(pat).
    homem(joe).
    homem(bob).
```

```
irma(X,Y) :-
    pai_ou_mae(Z,X),
      pai_ou_mae(Z,Y),
       mulher(Y).
irmao(X,Y) :-
    pai_ou_mae(Z,X),
    pai_ou_mae(Z,Y),
    homem(Y).
sobrinho(X,Y) :- irma(X,Z),
    pai_ou_mae(Z,Y).
sobrinho(X,Y) :-
    irmao(X,Z),
    pai_ou_mae(Z,Y).
```



# Backtracking

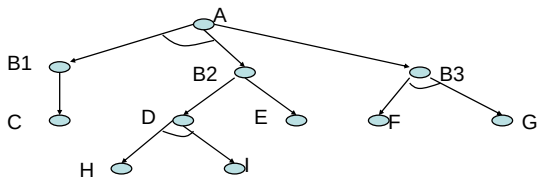
Técnica de busca que consiste em sistematicamente testar todos os caminhos alternativos que levam a uma solução

- Árvore AND/OR (E/OU)
  - Nós AND - representam conjunções
  - Nós OR - representam disjunções (caminhos alternativos)



- A árvore AND/OR de um programa Prolog representa todos os caminhos que levam a uma solução, isto é, permitem provar o objetivo.

```
A :- B1, B2.
A :- B3.
B1 :- C.
B2 :- D.
B2 :- E.
B3 :- F, G.
D :- H, I.
```






# Árvore de Execução

Árvore que representa o processo de execução de uma consulta

**Nós** representam objetivos (simples ou compostos)

**Arcos** representam substituições de um objetivo por sub-objetivos pela unificação de objetivos com fatos ou regras

Usada para acompanhar a execução de uma consulta passo a passo.

Não é a árvore AND/OR