# Programação Lógica

## Fundamentos

**Prof. Edson Alves**

Faculdade UnB Gama

2020

# Sumário

1. Paradigma Lógico
2. Fatos
3. Consultas simples
4. Consultas compostas

# Paradigma Lógico

- O paradigma lógico foi elaborado a partir de um teorema proposto no contexto do processamento de linguagens naturais
- Ele permite prototipamento e desenvolvimento rápidos devido sua proximidade semântica com a especificação lógica do problema ser resolvido
- A programação, sob o viés do paradigma lógico, é declarativa
- Os programas são compostos por uma série de relações lógicas e consultas, as quais questionam se uma determinada proposição é ou não verdadeira
- Caso seja verdadeira, também é possível determinar qual atribuição de valores lógicos às variáveis da proposição a torna verdadeira
- Para se tornar um paradigma prático, é necessário o apoio de subrotinas extra-lógicas que controlem os processos de entrada e saída de dados e que manipulem o fluxo de execução do programa

# Prolog

- A linguagem de programação lógica Prolog foi proposta em 1972 por Alain Colmerauer e Philippe Roussel, tendo como base os trabalhos de Robert Kowalski
- Prolog é uma contração da expresssão "*PROgramming in LOGic*"
- Ela tem raízes na lógica de primeira ordem
- O SWI Prolog pode ser instalado em distribuições com suporte ao apt por meio do comando

```
$ sudo apt-get install swi-prolog
```

- O interpretador (*listener*) Prolog pode ser invocado com o comando

```
$ prolog
```

- Para validar a instalação, utilize o comando

```
$ prolog -v
```

# Programas em Prolog

- Um programa em Prolog é composto de uma coleção de pequenas unidades modulares, denominadas **predicatos**
- Os predicatos são semelhantes às subrotinas de outras linguagens
- Eles podem ser testados e adicionados separadamente em um programa, de modo que é possível construir programas incrementalmente
- O ato de inserir de códigos no interpretador Prolog é denonimado **consultar**
- É possível consultar diretamente um arquivo-fonte no interpretador Prolog por meio do predicado `consult()`:

```
?- consult(source)
```

# Programas em Prolog

- Se o arquivo for modificado, ele deve ser relido através do predicado `reconsult()`:

```
?- reconsult(source)
```

- A extensão dos arquivos-fonte deve ser '`.pl`'
- Usando o comando

```
$ prolog -s source.pl
```

  o conteúdo de `source.pl` é carregado no interpretador e o terminal fica pronto para consultas
- Para fazer uma consulta sem entrar no modo iterativo, use a opção '`-g`' para estabelecer o objetivo e a opção '`-t`' para encerrar o Prolog:

```
$ prolog -s source.pl -g "goal(X),print(X),nl,fail." -t halt
```

# Exemplo de programa em Prolog

- A proposição "*Todo estudante da FGA é estudante da UnB*" pode ser declarada em Prolog da seguinte forma:

```
unb(X) :- fga(X).
```

- Outra forma de ler esta mesma proposição seria "*Para todo X, X é aluno da UnB se X estuda na FGA*"
- Afirmações sobre estudantes da FGA pode ser feitas por meio do predicado `fga/1`:

```
fga(ana).
fga(beto).
fga(carlos).
```

- Observe o ponto final ('.') que encerrada cada proposição/predicado

# Exemplo de arquivo-fonte em Prolog

```
1 % Exemplo de arquivo-fonte Prolog
2 unb(X) :- fga(X).
3
4 fga(ana).
5 fga(beto).
6 fga(carlos).
```

# Exemplo de programa em Prolog

- Se estes predicados forem inseridos em um arquivo denominado 'students.pl', ele pode ser consultado no interpretador Prolog através do predicado consult/1:

```
?- consult(students).
true.
```

- Para saber checar se Ana é estudante da UnB, basta utilizar a consulta

```
?- unb(ana).
true.
```

- Para saber se Diana também é estudante da UnB, a consulta deve ser

```
?- unb(diana).
false.
```

# Exemplo de programa em Prolog

- Para listar todos os estudantes conhecidos da UnB, faça a consulta

```
?- unb(X).
X = ana .
```

- Observe que a consulta atribuiu corretamente `X = ana`, pois Ana é estudante da UnB
- A consulta retorna o primeiro valor encontrado para `X` que torna a sentença aberta `unb(X).` verdadeira
- Para obter os demais valores de `X` que também tornam tal sentença verdadeira, utilize o operador ponto-e-vírgula (';') após cada retorno:

```
?- unb(X).
X = ana ;
X = beto ;
X = carlos.
```

# Exemplo de programa em Prolog

- É possível formatar a lista de todos os estudantes da UnB por meio dos predicados `write/1` e `nl/0`
- O predicado `write/1` escreve seu argumento no terminal
- O predicado `nl/0` inicia uma nova linha no terminal
- Estes predicados podem ser combinados com a consulta sobre os estudantes da UnB para formar o predicado `unb_report/0`:

```
unb_report :-
    write('Estudantes da UnB: '), nl,
    unb(X),
    write(X), nl,
    fail.
```

- Este novo predicado por ser consultado no interpretador da seguinte forma:

```
?- unb_report.
```

# Arquivo-fonte completo do exemplo

```
1 % Exemplo de arquivo-fonte Prolog
2 unb(X) :- fga(X).
3
4 fga(ana).
5 fga(beto).
6 fga(carlos).
7
8 unb_report :-
9     write('Estudantes da UnB: '), nl,
10    unb(X),
11    write(X), nl,
12    fail.
```

# Terminologia

- O jargão de Prolog é composto por termos de programação, termos de bancos de dados e termos lógicos
- Não há uma divisão clara, em Prolog, entre dados e procedimentos
- Um programa em Prolog é um banco de dados Prolog
- Sinômios para um termo são introduzidos entre parêntesis
- Por exemplo, no nível mais alto temos `program(database)`
- Um programa é composto por predicados (procedimentos, registros, relações)
- Cada predicado é definido um nome e um número (**aridade**)
- A aridade é o número de argumentos (atributos, campos) do predicado
- Dois predicados com nomes diferentes, mais aridades distintas, são considerados distintos

# Terminologia

- No exemplo anterior são três os predicados: `unb/1`, `unb_report/0` e `fga/1`
- `fga/1` lembra um registro com um campo de outras linguagens
- `unb_report/0` se assemelha a uma subrotina sem argumentos
- `mortal/1` remete a uma regra ou proposição, e está em algum lugar entre dados e procedimentos
- Cada predicado do programa é definido pela existência de uma ou mais cláusulas no banco de dados
- No exemplo, `fga/1` tem 3 cláusulas, os demais predicatos apenas uma cláusula
- Cada cláusula pode ser uma **regra** ou um **fato**
- As quatro cláusulas de `fga/1` são fatos
- As demais são regras

# Fatos em Prolog

- Os fatos são os predicados mais simples do Prolog
- Eles se assemelham a registros em um banco de dados relacional
- A sintaxe para a declaração de um fato é

```
pred(arg1, arg2, ..., argN).
```

  onde `pred` é o nome do fato, e `arg1, arg2, ..., argN` são os argumento, sendo $N$ a aridade
- O ponto final ('.') encerra todas as cláusulas de Prolog
- Se a aridade do predicado for zero, a sintaxe se reduz a

```
pred.
```

# Termos

- Os argumentos podem ser quaisquer termos válidos de Prolog
- Os termos básicos do Prolog são
  - **inteiro**: número positivo, negativo ou zero, com valor absoluto máximo dependendo da implementação
  - **átomo**: uma constante de texto iniciada com letra minúscula
  - **variável**: começa com letra maiúscula ou sublinhado ('_')
  - **estrutura**: termos complexos
- Algumas implementações podem estender esta lista, com strings e ponto flutuante, por exemplo
- O uso de aspas simples permitem a construção de átomos por meio de qualquer combinação válida de caracteres
- Os nomes dos predicados seguem as mesmas regras dos átomos

# Fatos em programas em Prolog

- Os fatos são frequentemente utilizados para inserir informações no programa
- Por exemplo, para o predicato `paciente/3` podem ser atestados os seguintes fatos:

```
paciente('Maria Rita', 35, sus)
paciente('Pedro Silva', 70, amil)
```

- As aspas foram usadas nos nomes porque começam em maiúsculas e porque tem espaços
- Um interpretador Prolog deve fornecer meios de inserção de fatos e regras em uma base de dados dinâmica, a qual pode ser consultada
- A base de dados é atualizada por meio de consultas (`consult/1` ou `reconsult/1`

# Fatos em programas em Prolog

- Os predicados podem ser inseridos diretamente no interpretador, mas não são gravados entre as sessões
- Isto pode ser feito por meio do predicados `asserta/1` e `assertz/1`
- O primeiro insere um novo fato como primeiro dentre os fatos declarados para o predicado
- O segundo insere o novo fato como o último dentre os já declarados
- Os nomes utilizados no fato são indiferentes para o Prolog, mas para a aplicação as relações devem ser compatíveis com a semântica dos identificadores escolhidos
- Prolog considera distintos os fatos `fato(a, b)` e `fato(b, a)`

# Consultas simples

- Uma vez que a base de dados do interpretador Prolog seja alimentado com fatos, o este interpretador pode responder a consultas (*queries*) a respeito dos fatos
- As consultas em Prolog funcionam por meio do casamento de padrões (*pattern matching*)
- O padrão de uma consulta é denominado **objetivo** (*goal*)
- Se algum fato atinge o objetivo, a consulta é bem sucedida e o interpretador responde "Sim" (`true.`)
- Caso contrário, a consulta falha e o interpretador responde "Não" (`false.`)
- O casamento de padrões do Prolog é denominado **unificação**

# Unificação

## Unificação (versão simplificada)

Se o programa contém apenas fatos, a unificação é bem sucedida se as três condições abaixo são satisfeitas:

1. o predicado citado no objetivo e na base de dados é o mesmo,
2. ambos tem a mesma aridade,
3. todos os argumentos são os mesmos.

# Exemplos de unificação

```
% Os fatos abaixo devem ser carregados no interpretador Prolog
f(1, 2).
f(1, 3).
f(2, 3).

g(1).
g(2).

%% Exemplos de consultas
% ?- f(1, 2).
% true.
%
% ?- f(2, 1).
% false.
%
% ?- f(1).
% false.
%
% ?- g(1, 2).
% false.
```

# Variáveis lógicas

- Objetivos podem ser generalizados por meio de variáveis do Prolog
- Estas variáveis não se comportam como variáveis em outras linguagens, e são denominadas variáveis lógicas
- Elas substituem um ou mais argumentos no objetivo
- O nome e a aridade do predicado devem permanecer os mesmos, porém o argumento substituído pela variável casará positivamente com qualquer termo
- Após uma unificação bem sucedida, a variável terá como valor os termos os quais casaram com ela
- Este processo ata (*to bind*) os valores (termos) à variável
- Estes valores serão o retorno da consulta

# Variáveis lógicas

- Um valor será retornado: caso mais de um valor seja casado com a variável, Prolog fornece mecanismos para a extração de todos eles
- Após uma resposta pode ser inserido o ponto-e-vírgula (‘;’): isto faz com que Prolog procure por casamentos alternativos para as variáveis
- Qualquer outra entrada encerra a consulta
- Se não houveram mais alternativas, o retorno será “Não”
- Os nomes das variáveis devem iniciar em maiúsculas
- Todos os argumentos da consulta podem ser substituídos por variáveis

# Exemplo de uso de variáveis lógicas

```
algoritmo(grafos, kruskall).
algoritmo(grafos, bellman-ford).

algoritmo(strings, kmp).
algoritmo(strings, z-function).
algoritmo(strings, lcs).

algoritmo(gulosos, kruskall).

%% Exemplos de consultas
% ?- algoritmo(strings, X).
% X = kmp ;
% X = z-function ;
% X = lcs.
%
% ?- algoritmo(Area, kruskall).
% Area = grafos ;
% Area = gulosos.
%
% ?- algoritmo(Area, Nome).
```

# *Backtracking*

- Quando Prolog tenta satisfazer um objetivo a respeito de um predicado, ele percorre todas as cláusulas que definem o predicado
- Uma vez que há um casamento (entre argumentos ou variáveis), a cláusula em questão é marcada, indicando que ela satisfez o objetivo
- O interpretador retorna o valor deste casamento, no caso de variáveis, ou "`Sim`", no caso de argumentos
- Se o usuário solicitar mais respostas, ele retoma a busca entre as cláusulas a partir do ponto em que ele parou
- Nesta retomada a última variável que foi casada é desatada
- Este processo é denominado *backtracking*

# Objetivos e fluxo de controle

- Um objetivo em Prolog tem quatro portas que representam o fluxo de controle quando este avalia o objetivo: chamada (*call*), saída (*exit*), retomada (*redo*) e falha (*fail*)
- A avaliação do objetivo inicia na chamada
- Se a chamada é bem sucedida (há um casamento de padrão), a avaliação saí (encerra, *exit*), atando as variáveis com os resultados obtidos
- Caso contrário, a avaliação falha: não há mais valores que possam satisfazer o objetivo
- Se bem sucedida e é seguida de um ';', a avaliação é retomada (*redo*) a partir do ponto que parou
- As variáveis são desatadas de seus valores e se busca por novas valores que também satisfaçam o objetivo

# Visualização do fluxo em Prolog

# Rastreamento

- É possível rastrear (*to trace*) o fluxo de controle do Prolog por meio do predicado `trace/0`
- Todas as consultas subsequentes serão rastreadas
- O comando `creep` avança para o próximo passo da execução, de modo semelhante ao comando `step` dos depuradores das linguagens procedurais
- No SWI-Prolog, este comando pode ser inserido através da barra de espaço
- Para desativar o modo `trace`, use o predicado `notrace/0`, seguido do predicado `nodebug/0`

# Generalizações

- As variáveis lógicas permite a declaração de generalizações
- Generalizações são fatos que casam com qualquer outro valor
- Por exemplo, a afirmtação "Todos dormem" pode ser declarada como

```
?- assert(sleeps(X)).
```

- Outro fato importante relativo às variáveis lógicas é que se uma mesma variável é utilizada em vários argumentos, o casamento só será bem sucedido se esta variável casar com o mesmo valor em todas as suas ocorrências

# Exemplo de mesma variável lógica em múltiplos argumentos

```
% Mesma variável lógica em ambos argumentos
f(1, 1).
f(1, 2).
f(1, 3).

f(2, 1).
f(2, 2).
f(2, 3).

g(a, 1).
g(1, a).

% Exemplos de consultas
%
% f(X. X).
% X = 1 ;
% X = 2 ;
% false.
%
% g(X, X).
% false.
```

# Consultas compostas

- Consultas simples podem ser combinadas em consultas compostas por meio do operador ',', que corresponde ao **e** lógico
- A sintaxe para consultas compostas é

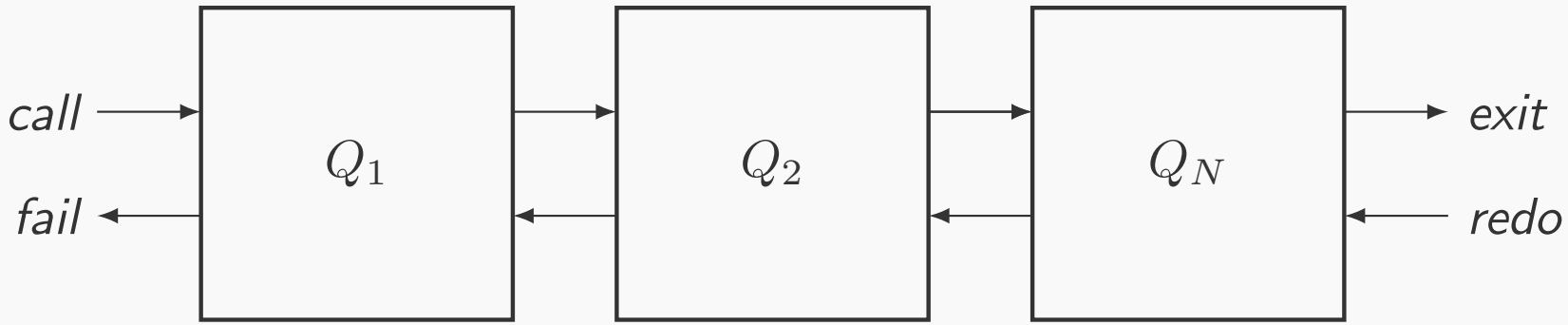
```
?- query1(a1, ..., ak), query2(b1, ..., br), ..., queryN(z1, ..., zs).
```

- Se uma mesma variável aparece em mais de um predicado da consulta composta, ela deve ter o mesmo valor em todos eles para que exista um casamento de padrão para a consulta composta
- O escopo de uma variável lógica é uma consulta, seja simples ou composta
- Se a mesma variável é utilizada em consultas distintas, cada consulta tem sua própria cópia da variável

# Consultas compostas

- O processo de *backtracking* é utilizado para tentar casar todos os padrões, da esquerda para a direita
- Ele encerra (porta `exit`) com sucesso apenas se ele sai do predicado mais à direita com sucesso
- Neste caso, ele imprima o conjunto de variáveis cujas atribuições tornaram a consulta composta verdadeira
- Se uma consulta sai pela porta `redo`, apenas as variáveis presentes no predicado mais à direita são desatadas (as variáveis associadas aos predicados anteriores permanecem atadas)
- Se a consulta falha para um dos predicados, ela falha como um todo
- O operador ponto-e-vírgula (';') força uma reentrada no último predicado pela porta `redo`

# Visualização do fluxo para consultas compostas em Prolog



# Exemplo de consultas compostas

```
cidade('Brasília', df).
cidade('Gama', df).

cidade('Cuiabá', mt).
cidade('Barra dos Bugres', mt).
cidade('Tangará da Serra', mt).

cidade('Belo Horizonte', mg).
cidade('Governador Valadares', mg).

capital('Brasília').
capital('Cuiabá').
capital('Belo Horizonte').

regiao(centro_oeste, df).
regiao(centro_oeste, mt).
regiao(sudeste, mg).

% Exemplos de consultas:
% ?- cidade(X, mt), capital(X).
% ?- cidade(X, Y), regiao(centro_oeste, Y), capital(X).
```

# Predicatos pré-definidos

- Prolog oferece uma série de predicados pré-definidos (*built-in*)
- Não há cláusulas para tais predicados
- Quando um objetivo casa com um predicado pré-definido, ele chama uma rotina pré-definida
- Estas rotinas, em geral, são implementadas na mesma linguagem que implementou o interpretador Prolog
- Elas realizam tarefas que estão fora do contexto da prova de teoremas lógicos, como escrever no console
- Por esta razão, também são denominados predicados extra-lógicos
- Ele respondem tanto na porta `call` (*left*) quando na porta `redo` (*right*)
- A resposta no caso `redo` é denominada comportamento no *backtracking*

# Predicados extra-lógicos

- Exemplos de predicados extra-lógicos de I/O:
  1. `write/1`: sempre casa com qualquer padrão, e tem como efeito colateral escrever seu argumento no console. Sempre falha no *backtracking*
  2. `nl/0`: sempre é bem sucedido, e inicia uma nova linha. Também falha no *backtracking*
  3. `tab/1`: avança $n$ espaços, onde $n$ é seu argumento. Mesmo comportamento dos anteriores
- Estes predicados não afetam o fluxo de controle, transferindo-o controle adiante (*left*) ou para trás (*backtracking*)
- Eles também não alteram as variáveis
- O predicado `fail/0` sempre falha
- Se ele recebe o controle vindo da esquerda, ele passa o controle imediatamente para a porta *redo* do objetivo à sua esquerda
- Ele nunca recebe o controle da direita, pois nunca deixa o fluxo avançar para lá

# Exemplo de consultas que utilizam predicados extra-lógicos

```
1  triangle(equilateral).
2  triangle(isosceles).
3  triangle(scalene).
4
5  quadrilateral(square).
6  quadrilateral(rectangle).
7  quadrilateral(rhombus).
8  quadrilateral(trapezoid).
9
10 equal_sides(equilateral).
11 equal_sides(square).
12 equal_sides(rhombus).
13
14 right_angles(square).
15 right_angles(rectangle).
16
17 % Exemplos de query que imprime todos os resultados
18 % possíveis sem interação
19 %
20 % ?- quadrilateral(X), equal_sides(X), print(X), nl, fail.
```

# Referências


1. **MERRIT**, Dennis. *Adventure in Prolog*, Amzi! Inc, 191 pgs, 2017.
2. **SHALOM**, Elad. *A Review of Programming Paradigms Througout the History – With a Suggestion Toward a Future Approach*, Amazon, 2019.
3. SWI Prolog. SWI Prolog, acesso em 10/11/2020.
4. Wikipédia. Prolog, acesso em 10/11/2020.