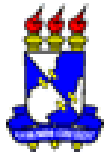
Processamento e Especificação de Linguagens de Programação

Prof. Alberto Costa Neto
alberto@ufs.br

Linguagens de Programação



Departamento de Computação
Universidade Federal de Sergipe

Introdução

- LPs são ferramentas-chave dos programadores
- LP = notação formal para expressar algoritmos
- Algoritmo = conceito abstrato independente
  - linguagem natural, diagramas, rabiscos, etc...
- Entretanto, sem uma notação formal não podemos compartilhar, verificar a corretude, e... ... principalmente, fazer a máquina entender as instruções para executar o que queremos

Introdução

- **Processador de Linguagem** = **traduz** a notação da linguagem usada para expressar um algoritmo em um conjunto de instruções primitivas da máquina (código de máquina)

Introdução

- Exemplo: Programa para calcular área de um triângulo

$$area = \sqrt{(s(s-a)(s-b)(s-c))}$$

$$\text{onde, } s = \frac{(a+b+c)}{2}$$

Introdução

código de máquina

```
0000 0001 0110 1110
0100 0000 0001 0010
1100 0000 0000 1101
...
```

código assembly

```
LOAD R1 a; ADD R1 b; ADD R1 c; DIV R1 #2;
LOAD R2 R1;
LOAD R3 R1; SUB R3 a; MULT R2 R3;
LOAD R3 R1; SUB R3 b; MULT R2 R3;
LOAD R3 R1; SUB R3 c; MULT R2 R3;
LOAD R0 R2; CALL sqrt
```

código alto-nível

```
let s = (a+b+c)/2
in sqrt(s*(s-a)*(s-b)*(s-c))
```

Introdução

linguagens de alto-nível

- Conceitos típicos:
  - Expressões
  - Tipos
  - Comandos
  - Declarações
  - Abstração
  - Encapsulamento
  - ...

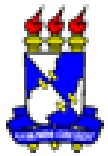
Introdução

- Tipos de Processadores de Linguagem
  - **Tradutor:** traduz o código de uma linguagem para outra
    - **Caso particular: Compilador**
      - Traduz o código escrito numa linguagem de alto nível para uma linguagem de baixo nível (usualmente, ling. de máquina)
  - **Interpretador:** executa diretamente o código expresso numa determinada linguagem sem estágio intermediário
  - **Híbrido**: compila e interpreta
    - Ex: Java

Especificação de Linguagens

Prof. Alberto Costa Neto
alberto@ufs.br

Linguagens de Programação



Departamento de Computação
Universidade Federal de Sergipe

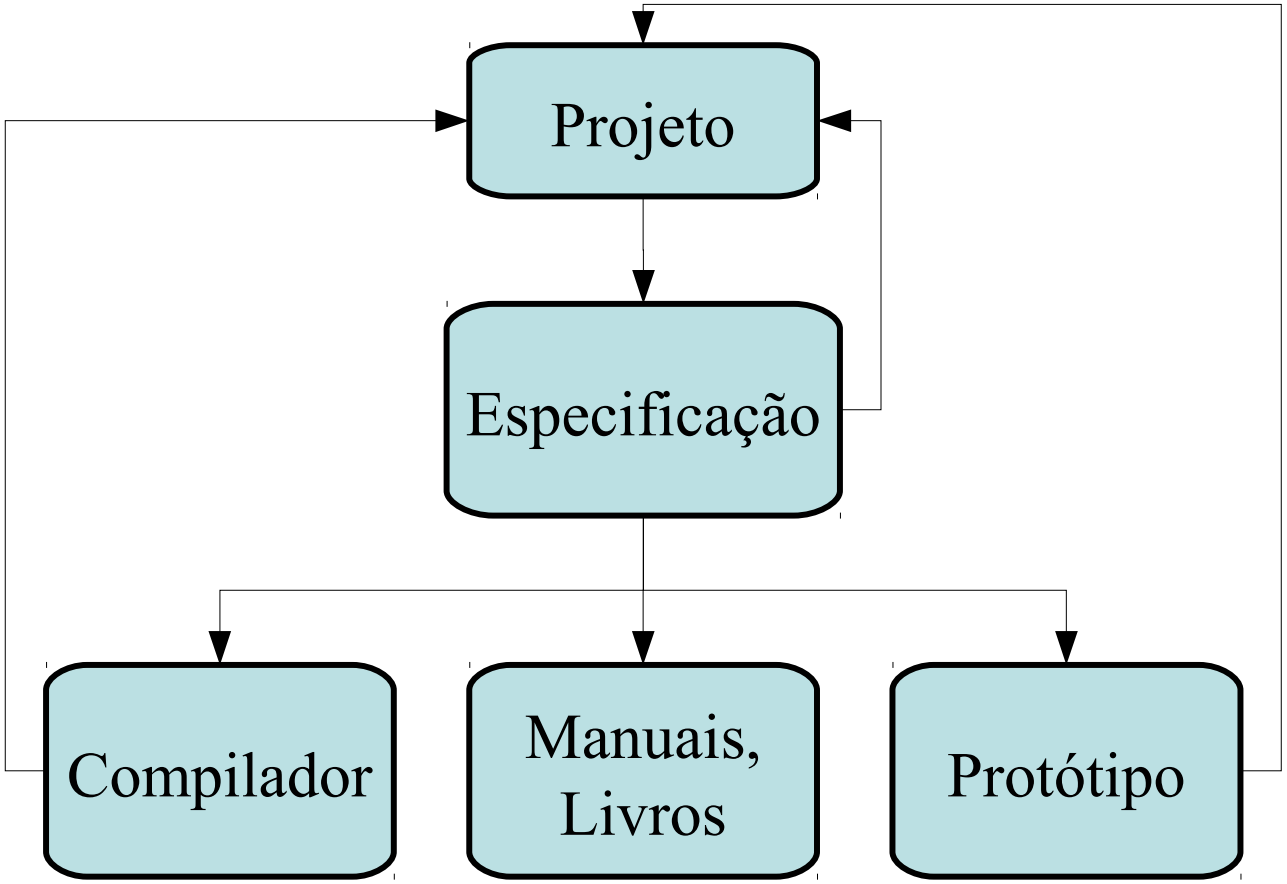
Especificação de Linguagens

- **O que é?**
  - A "cara" de um programa "bem formado"
    - **Sintaxe:** quais os símbolos existentes e como podem ser combinadas
    - **Restrições de contexto:** determinar se uma expressão é bem formada depende do contexto
  - Qual o significado de um programa "bem formado"
    - **Semântica:** qual o significado real dos símbolos

Especificação de Linguagens

- **Por quê?**
  - Dispositivo de comunicação entre pessoas que precisam ter um entendimento comum de uma determinada linguagem de programação
    - Projetista da linguagem
    - Implementador da linguagem
    - Usuário da linguagem (programadores)

Ciclo de Vida de uma LP



Especificação de Linguagens

- **Como especificar?**
  - Especificação Formal: uso de um tipo de formalismo preciso
  - Especificação Informal: descrição em uma língua qualquer (ex: inglês)
  - Geralmente, uma mistura (ex: Java)
    - Sintaxe: especificação formal com Context-free Grammar (CFG)
    - Restrição contextual e Semântica: informal
    - Obs: já existe semântica formal de Java!

Especificação de Linguagens

- Sintaxe é a parte **mais visível** da linguagem
- Paradigma da Linguagem é a **segunda parte mais visível**
  - A escolha do paradigma depende da forma como o programador modela o problema
  - Não existe o modelo "certo" de se programar; apenas modelos diferentes adequados a diferentes tipos de problemas
- A parte **menos visível** é a semântica da linguagem
  - Linguagem que possui uma semântica bem definida normalmente permite implementações claras e precisas

Sintaxe

- Especificada através de Gramáticas Livre de Contexto (**Context Free Grammars – CFG**)
  - Conjunto finito de símbolos **terminais**
  - Conjunto finito de símbolos **não-terminais**
    - Entre eles, um **símbolo de início**
  - Conjunto finito de **regras de produção**

Sintaxe

- Normalmente CFGs são escritas com a notação **BNF (Backus-Naur Form)**
- Regra de produção em BNF:

  N **::= α**

  onde *N* é um não-terminal;
  α é sequência de terminais e não-terminals; e

  ::= significa "consiste de"

  N **::= α | β | ...**

  é o mesmo que definir várias regras com *N*

Sintaxe

- Cada CFG define uma linguagem, que nada mais é que um conjunto de strings de símbolos terminais.
- Exemplo:

```
Inicio ::= Letra
         | Inicio Letra
         | Inicio Digito
Letra  ::= a | b | c | d | ... | z
Digito ::= 0 | 1 | 2 | ... | 9
```

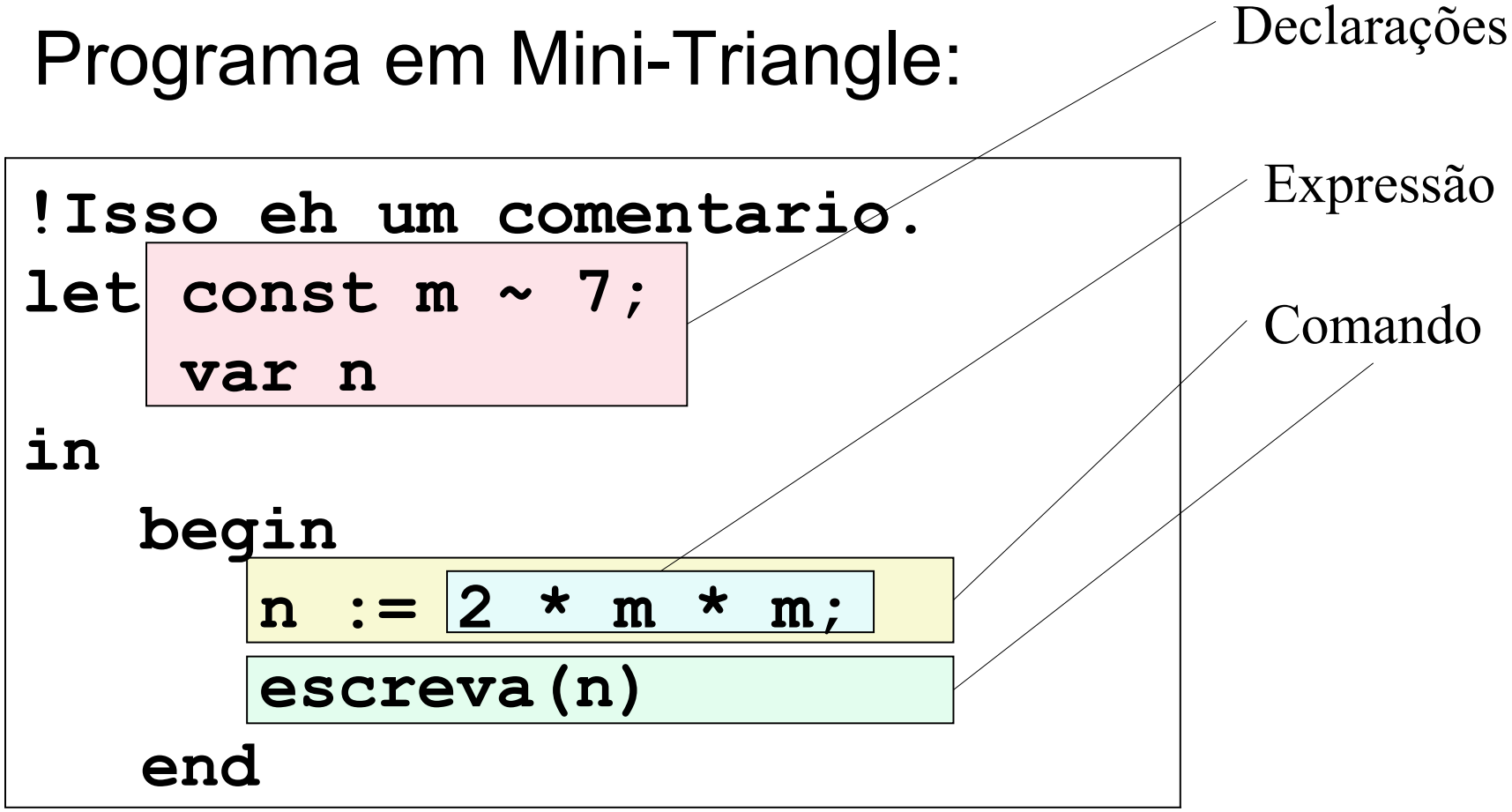
Sintaxe

- Derivação: geração de uma sentença, ou aplicação de uma produção na linguagem

```
Inicio => Inicio Digito
       => Inicio Digito Digito
       => Inicio Digito   1
       => Inicio   1      1
       => Inicio Letra 1  1
       => Inicio Letra Letra 1 1
       => Letra Letra Letra 1 1
       => Letra Letra   s   1 1
       => Letra   f     s   1 1
       =>   u     f     s   1 1
```

Sintaxe::Linguagem “Mini-Triangle”

- Linguagem bem simples
- Programa em Mini-Triangle:



Sintaxe::CFG de "Mini-Triangle"

```
Program ::= Single-Command
Single-Command ::= V-name := Expression
        | Identifier ( Expression )
        | if Expression then Single-Command
                        else Single-Command
        | while Expression do Single-Command
        | let Declaration in Single-Command
        | begin Command end
Command ::= Single-Command
          | Command ; Single-Command
...
```

Sintaxe::CFG de "Mini-Triangle"

```
Expression ::= Primary-Expression
    | Expression Operator Primary-Expression
Primary-Expression ::= Integer-Literal
    | V-name
    | Operator Primary-Expression
    | ( Expression )
V-name ::= Identifier
Identifier ::= Letter
             | Identifier Letter
             | Identifier Digit
Integer-Literal ::= Digit
                  | Integer-Literal Digit
Operator ::= + | - | * | / | < | > | =
```

Sintaxe::CFG de "Mini-Triangle"

```
Declaration ::= single-Declaration
              | Declaration ; Single-Declaration
Single-Declaration
   ::= const Identifier ~ Expression
     | var Identifier : Type-denoter
Type-denoter ::= Identifier
```

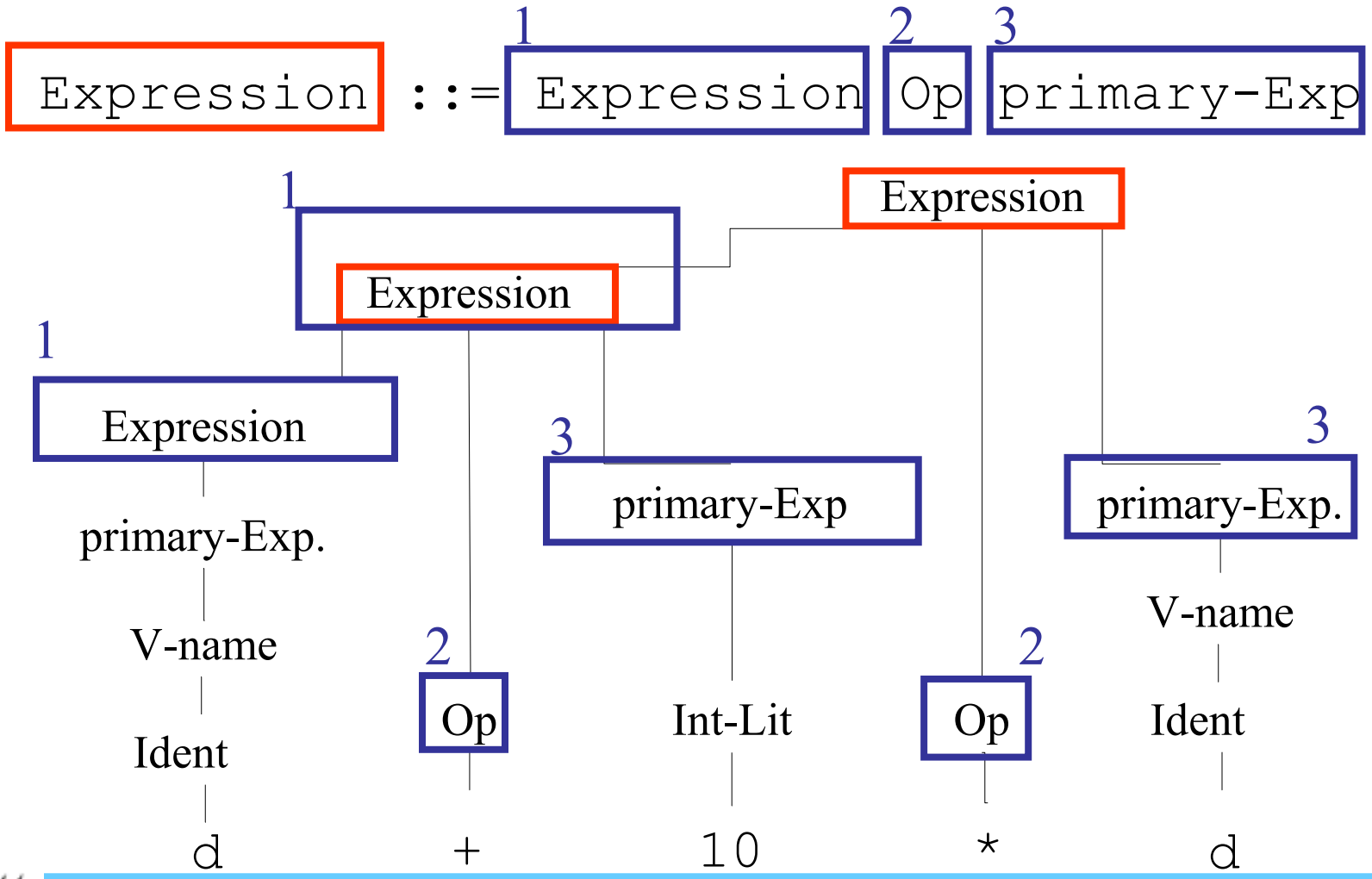
```
Comment ::= ! CommentLine eol
CommentLine ::= Graphic CommentLine
Graphic ::= qualquer caracter que possa ser impresso
```

Sintaxe::Árvore Sintática

- Árvore ordenada de rótulos de uma CFG:
  a) Nós terminais (folhas) são rotulados por símbolos terminais
  b) Nós não-terminais (nós internos) são rotulados por símbolos não-terminais
  c) Cada nó não-terminal rotulado por *N* tem filhos $X_1, X_2, \ldots X_n$ (nessa ordem) tal que $N ::= X_1 \ldots X_n$ é uma regra de produção.

Sintaxe::Árvore Sintática

Exemplo: Arv. Sint. de uma Expression de MT



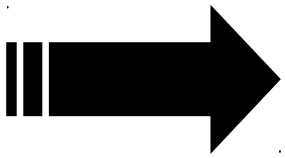
Retrições de Contexto

- Regras Sintáticas sozinhas não são suficientes para especificar o formato de programas bem-formados

Exemplo 1:

```
let const m~2
in  m + x
```

Indefinido!

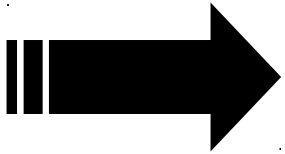


Regras de Escopo

Exemplo 2:

```
let const m~2 ;
    var   n:Boolean
in begin
   n := m<4;
   n := n+1
end
```

Erro de Tipo!

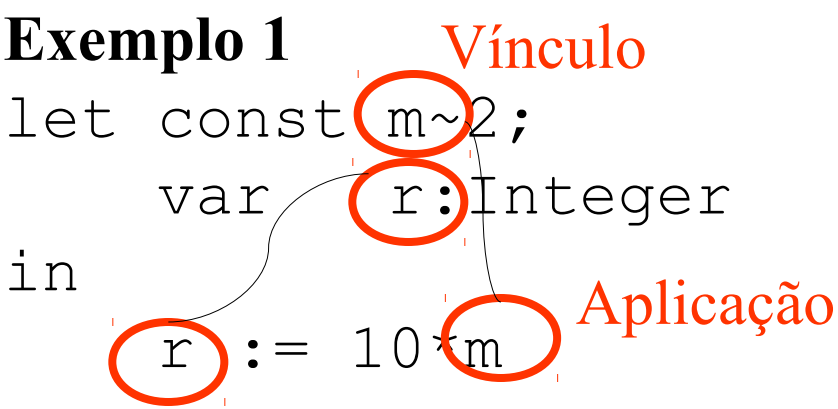


Regras de Tipo

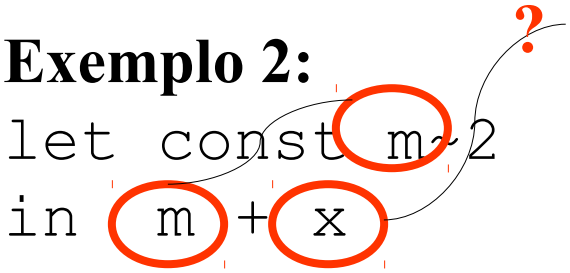
Retrições de Contexto

- **Regras de Escopo:**
  - Regulam a visibilidade de identificadores.
  - Relacionam toda **ocorrência de aplicação** de um identificador a uma **ocorrência de vínculo**

Exemplo 1



Exemplo 2:



Conceito associado:

Vínculo Estático vs. Vínculo Dinâmico

Retrições de Contexto

Regras de Tipo: Regem a definição do tipo esperado do operando e o tipo do resultado da operação

Exemplo1: ***E1*** **<** ***E2***

Regra de Tipo do **<** é:

se ***E1*** e ***E2*** são do tipo int, então o resultado é do tipo boolean

Exemplo2: **while** ***E*** **do** ***C***

Regra de Tipo do **while** é:

E deve ser do tipo boolean

Conceito associado:

Tipagem Estática vs. *Tipagem Dinâmica*

Semântica

- Especificação da semântica está ligada com a especificação do "significado" de programas bem-formados

- **Conceitos relacionados:**
  - **Expressões** são **avaliadas** e **geram valores** (pode ter o efeito colateral de atualizar variável)
  - **Comandos** são **executados** para **atualizar variável** (pode ter o efeito colateral de executar operações de entrada/saída)
  - **Declarações** são **elaboradas** para **produzir vínculos** (pode ter o efeito colateral de alocar e inicializar variáveis)

Semântica::Expressões

A expressão E1 O E2 é avaliada da seguinte forma:

1) E1 gera valor v
2) E2 gera valor w
3) operação binária O é aplicada a v e w

Semântica::Declarações

A declaração de constante const I~E é elaborada da seguinte forma:

1) E gera um valor v
2) identificador I é vinculado a v

A declaração de variável var I:T é elaborada da seguinte maneira:

1) uma nova variável é alocada na memória
2) valor inicial é indefinido
3) I é vinculado a essa nova variável
4) A variável será desalocada na saída do comando let contendo a declaração

A declaração sequencial D1 ; D2 é elaborada da seguinte forma:

1) D1 é elaborada e gera vínculos g
2) D2 é elaborada e gera vínculos h levando g em consideração

Semântica::Comandos

O comando de atribuição V := E é executado da seguinte maneira:

1) a expressão E é avaliada e gera um valor v
2) depois, v é atribuído à variável de nome V

O comando sequencial C1;C2 é executado da seguinte maneira:

1) o comando C1 é executado
2) depois, o comando C2 é executado.

O comando condicional if E then C1 else C2 é executado da seguinte maneira:

1) a expressão E é avaliada e gera um valor-verdade t
2) se t é verdadeiro, C1 é executado
3) se t é falso, C2 é executado.

O comando let D in C é executado da seguinte maneira:

1) a declaração D é elaborada e produz vínculos b
2) C é executado no contexto do comando let
3) os vínculos b não possuem efeito fora do let

Semântica Operacional

- Descreve o significado de um programa executando-o em uma máquina (real ou não)
- Representada pelas alterações feitas pelo programa ao estado da máquina (registradores, memória, I/O).

Semântica Operacional

- Exemplo: Semântica da construção **for** da linguagem C

```
// Comando em C

for (exp1; exp2; exp3)
{

...

}
```

```
// Semântica Operacional

exp1;

loop: if exp2 = 0 goto out

   ...

exp3;

goto loop

out: ...
```

Semântica Denotacional

- **Método mais rigoroso** de descrição de significado de programas. Baseada na teoria de funções recursivas
- **Bastante complexa e muito pouco utilizada** nas linguagens conhecidas
- Funciona através da definição de um **objeto matemático e uma função para cada entidade da linguagem**
- Esta função **mapeia instâncias da entidade em instâncias do objeto matemático**
- Pode funcionar como um auxílio ao design de linguagens.
  - Ex: Quando a SD de uma construção da linguagem parecer muito complexa, pode significar a necessidade de rever a sintaxe desta construção

$$[\mathrm{ass}_{\mathrm{ns}}] \qquad \langle x := a,\ s\rangle \to s[x \mapsto \mathcal{A}[\![a]\!]s]$$

$$[\mathrm{skip}_{\mathrm{ns}}] \qquad \langle \mathtt{skip},\ s\rangle \to s$$

$$[\mathrm{comp}_{\mathrm{ns}}] \qquad \frac{\langle S_1,\ s\rangle \to s',\ \langle S_2,\ s'\rangle \to s''}{\langle S_1;S_2,\ s\rangle \to s''}$$

$$[\mathrm{if}^{\mathtt{tt}}_{\mathrm{ns}}] \qquad \frac{\langle S_1,\ s\rangle \to s'}{\langle \mathtt{if}\ b\ \mathtt{then}\ S_1\ \mathtt{else}\ S_2,\ s\rangle \to s'} \quad \text{if } \mathcal{B}[\![b]\!]s = \mathtt{tt}$$

$$[\mathrm{if}^{\mathtt{ff}}_{\mathrm{ns}}] \qquad \frac{\langle S_2,\ s\rangle \to s'}{\langle \mathtt{if}\ b\ \mathtt{then}\ S_1\ \mathtt{else}\ S_2,\ s\rangle \to s'} \quad \text{if } \mathcal{B}[\![b]\!]s = \mathtt{ff}$$

$$[\mathrm{while}^{\mathtt{tt}}_{\mathrm{ns}}] \qquad \frac{\langle S,\ s\rangle \to s',\ \langle \mathtt{while}\ b\ \mathtt{do}\ S,\ s'\rangle \to s''}{\langle \mathtt{while}\ b\ \mathtt{do}\ S,\ s\rangle \to s''} \quad \text{if } \mathcal{B}[\![b]\!]s = \mathtt{tt}$$

$$[\mathrm{while}^{\mathtt{ff}}_{\mathrm{ns}}] \qquad \langle \mathtt{while}\ b\ \mathtt{do}\ S,\ s\rangle \to s \text{ if } \mathcal{B}[\![b]\!]s = \mathtt{ff}$$

Sugestões de Leitura

- Concepts of Programing Languages (Robert Sebesta)
  - Capítulo 3