

**Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Computação**  
**Construção de Compiladores e Construção de Compiladores 1**  
**Profa. Helena Caseli**

**Segunda Lista de Exercícios – Análise Sintática – Introdução**

1) Qual é a função da etapa de análise sintática no processo de tradução de um compilador?

*R. A análise sintática é a etapa que determina a sintaxe (estrutura) de um programa. Assim, é tarefa do analisador sintático verificar se as construções usadas no programa estão gramaticalmente corretas. Mais especificamente:*

- *Determinar a estrutura sintática de um programa a partir dos tokens produzidos pelo analisador léxico e*
- *Construir explícita ou implicitamente uma árvore sintática que represente essa estrutura*

2) Dada a gramática

$A ::= AA \mid (A) \mid \epsilon$

a) Quais são os símbolos terminais, não-terminais e o símbolo inicial?

*R. Terminais: ( e )*

*Não-terminais: A*

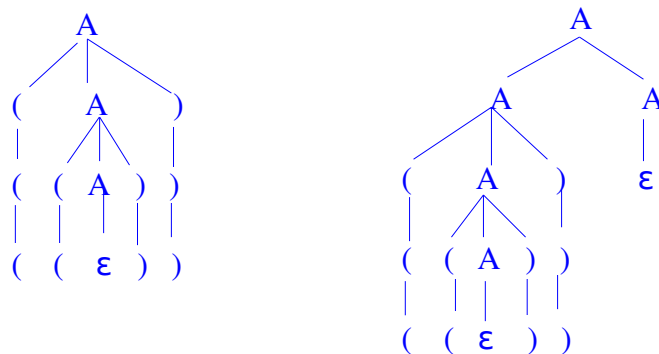
*Símbolo inicial: A*

b) Descreva a linguagem que ela gera.

*R. Essa gramática gera a linguagem de parênteses aninhados, ou seja, cada abre parênteses tem seu fecha parênteses correspondente.*

c) Mostre que ela é ambígua.

*R. Uma gramática é ambígua se ela permite que mais de uma árvore de análise sintática seja gerada para uma mesma cadeia. É possível mostrar que a gramática acima é ambígua apresentando as duas árvores a seguir para a cadeia ( ( ) ):*



3) Dada a gramática

$\langle \text{exp} \rangle ::= \langle \text{exp} \rangle \langle \text{soma} \rangle \langle \text{termo} \rangle \mid \langle \text{termo} \rangle$

$\langle \text{soma} \rangle ::= + \mid -$

$\langle \text{termo} \rangle ::= \langle \text{termo} \rangle \langle \text{mult} \rangle \langle \text{fator} \rangle \mid \langle \text{fator} \rangle$

$\langle \text{mult} \rangle ::= *$

$\langle \text{fator} \rangle ::= ( \langle \text{exp} \rangle ) \mid \text{número}$

Escreva: (1) derivações à esquerda, (2) árvores de análise sintática e (3) árvores sintáticas abstratas para as expressões a seguir:

a)  $3 + 4 * 5 - 6$

(em **negrito** é apresentado o que foi gerado no passo anterior da derivação e como sublinhado o não-terminal a ser substituído no próximo passo de derivação)

c)  $3 - (4 + 5 * 6)$

```

<exp> ::= <termo> { <soma> <termo> }
<soma> ::= + | -
<termo> ::= <fator> { <mult> <fator> }
<mult> ::= *
<fator> ::= ( <exp> ) | número

```

O diagrama de fluxo ilustra a avaliação de expressões matemáticas em português. Ele é dividido em três partes principais:

- Topo:** Mostra a avaliação de uma expressão (`exp`) para um termo (`termo`). O termo é então avaliado para um fator (`fator`).
- Middle:** Mostra a avaliação de um termo (`termo`) para um fator (`fator`). O fator é então avaliado para uma soma (`soma`) ou multiplicação (`mult`).
- Bottom:** Mostra a avaliação de um fator (`fator`) para uma soma (`soma`) ou multiplicação (`mult`). A soma é avaliada para um termo (`termo`) e a multiplicação para um fator (`fator`).

Os blocos de processamento são representados por retângulos (termo, fator, soma, mult) e os blocos de entrada/saída por ovalos (exp, termo, fator, soma, mult). As setas indicam o fluxo de dados entre os blocos.

5) Considere a gramática a seguir, que representa expressões simplificadas em LISP:

$$\langle \text{lexp} \rangle ::= \langle \text{átomo} \rangle \mid \langle \text{lista} \rangle$$
$$\langle \text{átomo} \rangle ::= \text{número} \mid \text{identificador}$$
$$\langle \text{lista} \rangle ::= ( \langle \text{lexp-seq} \rangle )$$
$$\langle \text{lexp-seq} \rangle ::= \langle \text{lexp-seq} \rangle \langle \text{lexp} \rangle \mid \langle \text{lexp} \rangle$$

a) Escreva derivações à esquerda e à direita para a cadeia ( **a 23 ( m x y )** )

*R.*

### Derivação à esquerda

$$\langle lex \rangle \Rightarrow \underline{\langle lista \rangle}$$
$$\Rightarrow ( \underline{\langle lexp-seq \rangle} )$$
$$\Rightarrow ( \underline{\langle lexp-seq \rangle} \langle lexp \rangle )$$
$$\Rightarrow ( \underline{\langle lexp-seq \rangle} \langle lexp \rangle \langle lexp \rangle )$$
$$\Rightarrow ( \underline{\langle lexp \rangle} \langle lexp \rangle \langle lexp \rangle )$$
$$\Rightarrow ( \underline{\langle \acute{a}tomo \rangle} \langle lexp \rangle \langle lexp \rangle )$$

$\Rightarrow ( \textit{identificador} \underline{<lexp>} <lexp> )$

$$\Rightarrow ( \textit{identificador} \underline{\textit{átomo}} \textit{<lexp>} )$$

$\Rightarrow ( \textit{identificador número} \textit{ <lexp> } )$

$\Rightarrow ( \textit{identificador número} \underline{\textit{<lista>}} )$

$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \underline{\text{<lexp-seq>}} ) )$

$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \underline{\text{lexp-seq}} \text{ } \text{lexp} ) )$

$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \underline{\text{<lexp-seq>}} \text{<lexp>} \text{<lexp>} ) )$

$\Rightarrow ( \textit{identificador número} ( \textit{<lexp>} \textit{<lexp>} \textit{<lexp>} ) )$

$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \underline{\text{átomo}} \text{ } \langle \text{lexp} \rangle \text{ } \langle \text{lexp} \rangle ) )$

$$\Rightarrow ( \textit{identificador número} ( \textit{identificador} \textit{<lexp>} \textit{<lexp>} ) )$$
$$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \text{identificador} \underline{\text{átomo}} \text{ <lexp> } ) )$$
$$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \text{identificador } \textbf{identificador} \text{ } \underline{\text{lexp}} ) )$$

$\Rightarrow ( \text{identificador número} ( \text{identificador } \textbf{identificador} \underline{\text{átomo}} ) )$

$\Rightarrow ( \textit{identificador número} ( \textit{identificador identificador} \textbf{identificador} ) )$

### *Derivação à direita*

$$\langle lexp \rangle \Rightarrow \underline{\underline{\langle lista \rangle}}$$
$$\Rightarrow (\underline{\langle lexp-seq \rangle})$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle lexp \rangle} )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle lista \rangle} )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \underline{\langle lexp-seq \rangle} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle lexp \rangle} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle átomo \rangle} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \textit{identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle lexp \rangle} \text{identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \underline{\langle átomo \rangle} \text{identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \langle lexp-seq \rangle \textit{identificador identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \underline{\langle lexp \rangle} \text{ identificador identificador } ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle ( \underline{\langle átomo \rangle} \text{identificador identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \underline{<lexp-seq>} ( \textit{identificador} \textit{identificador} \textit{identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle \langle lexp \rangle ( \textit{identificador identificador identificador} ) )$$
$$\Rightarrow ( \langle lexp-seq \rangle \langle \acute{a}tomo \rangle ( \textit{identificador identificador identificador} ) )$$

$\Rightarrow ( \text{<lexp-seq> } \textbf{número} ( \text{identificador identificador identificador} ) )$   
 $\Rightarrow ( \text{<lexp> } \textbf{número} ( \text{identificador identificador identificador} ) )$   
 $\Rightarrow ( \text{<átomo> } \textbf{número} ( \text{identificador identificador identificador} ) )$   
 $\Rightarrow ( \textbf{identificador} \textbf{número} ( \text{identificador identificador identificador} ) )$

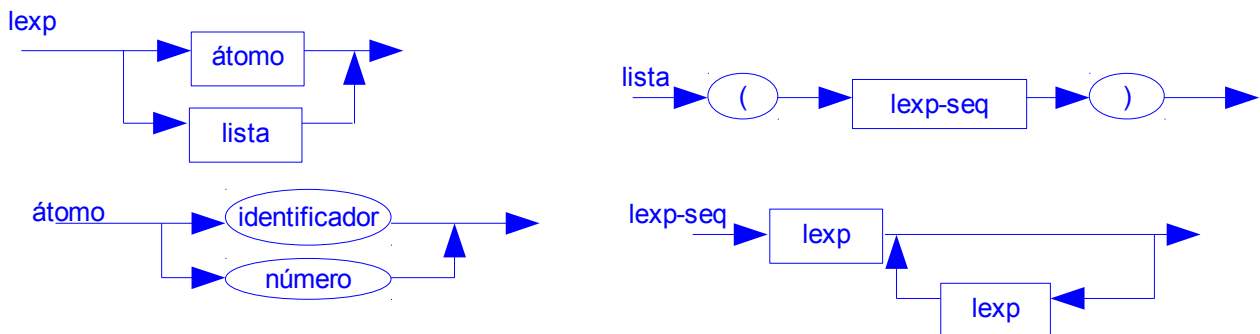
b) Desenhe uma árvore sintática para a cadeia da letra a)

R. A mesma árvore sintática é obtida para a derivação mais à esquerda e mais à direita isso ocorre porque, em geral, uma árvore sintática corresponde a muitas derivações, as quais representam a mesma estrutura básica para as cadeias de terminais analisadas.

6) Desenhe os diagramas sintáticos para as produções da gramática do exercício 5, considerando-se a versão sem recursão à esquerda e já convertida para EBNF (veja exercício 4 e reescreva a última produção).

R. Em EBNF

$\text{<lexp>} ::= \text{<átomo>} \mid \text{<lista>}$   
 $\text{<átomo>} ::= \text{número} \mid \text{identificador}$   
 $\text{<lista>} ::= ( \text{<lexp-seq>} )$   
 $\text{<lexp-seq>} ::= \text{<lexp>} \{ \text{<lexp>} \}$



7) Construa os conjuntos Primeiros e Seguidores para as seguintes gramáticas:

a)  $\text{<S>} ::= b\text{<A>}b$   
 $\text{<A>} ::= \text{<C>}\text{<B>} \mid a$   
 $\text{<B>} ::= \text{<A>}a$   
 $\text{<C>} ::= c \mid \epsilon$

R.

$\text{Primeiro}(S) = \{b\}$

$\text{Primeiro}(C) = \{c, \epsilon\}$

$\text{Primeiro}(A) = \{a\} + \text{Primeiro}(C) - \epsilon + \text{Primeiro}(B) - \epsilon = \{a, c\}$

$\text{Primeiro}(B) = \text{Primeiro}(A) = \{a, c\}$

$\text{Seguidor}(S) = \{\$ \}$

$\text{Seguidor}(C) = \text{Primeiro}(B) - \epsilon = \{a, c\}$

$\text{Seguidor}(A) = \text{Primeiro}(b) + \text{Primeiro}(a) = \{a, b\}$

$\text{Seguidor}(B) = \text{Seguidor}(A) = \{a, b\}$

b)  $\text{<S>} ::= \text{<A>} \mid \text{<B>} \mid \epsilon$   
 $\text{<A>} ::= \text{<A>}+\text{<B>} \mid \text{<A>--<B>} \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid \epsilon$   
 $\text{<B>} ::= \text{<A>} \mid \text{<C>}$   
 $\text{<C>} ::= (\text{<A>})$

R.

$Primeiro(S) = Primeiro(A) + Primeiro(B) + \{\epsilon\} = \{+, -, 1, 2, 3, \epsilon, ()\}$   
 $Primeiro(A) = Primeiro(A) - \epsilon + Primeiro(+) + Primeiro(-) + Primeiro(1) + Primeiro(2) + Primeiro(3) + \{\epsilon\} = \{+, -, 1, 2, 3, \epsilon\}$   
 $Primeiro(C) = \{()\}$   
 $Primeiro(B) = Primeiro(A) + Primeiro(C) = \{+, -, 1, 2, 3, \epsilon, ()\}$

$Seguidor(S) = \{\$ \}$   
 $Seguidor(A) = Seguidor(S) + Primeiro(+) + Primeiro(-) + Seguidor(B) + Primeiro() = \{\$, +, -, ()\}$   
 $Seguidor(C) = Seguidor(B) = \{\$, +, -, ()\}$   
 $Seguidor(B) = Seguidor(S) + Seguidor(A) = \{\$, +, -, ()\}$

c)  $\langle S \rangle ::= \epsilon \mid ab\langle A \rangle \mid ab\langle B \rangle \mid ab\langle C \rangle$   
 $\langle A \rangle ::= a\langle S \rangle aa \mid b$   
 $\langle B \rangle ::= b\langle S \rangle bb \mid c$   
 $\langle C \rangle ::= c\langle S \rangle cc \mid d$

R.

$Primeiro(S) = \{\epsilon\} + \{a\} = \{\epsilon, a\}$   
 $Primeiro(A) = \{a, b\}$   
 $Primeiro(B) = \{b, c\}$   
 $Primeiro(C) = \{c, d\}$

$Seguidor(S) = \{\$ \} + Primeiro(a) + Primeiro(b) + Primeiro(c) = \{\$, a, b, c\}$   
 $Seguidor(A) = Seguidor(S) = \{\$, a, b, c\}$   
 $Seguidor(B) = Seguidor(S) = \{\$, a, b, c\}$   
 $Seguidor(C) = Seguidor(S) = \{\$, a, b, c\}$

d)  $\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$   
 $\langle E' \rangle ::= +\langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \epsilon$   
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$   
 $\langle T' \rangle ::= *\langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \epsilon$   
 $\langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid id$

R.

$Primeiro(E) = Primeiro(T) = \{(\, id\}$   
 $Primeiro(E') = \{+, \epsilon\}$   
 $Primeiro(T) = Primeiro(F) = \{(\, id\}$   
 $Primeiro(T') = \{*, \epsilon\}$   
 $Primeiro(F) = \{(\, id\}$

$Seguidor(E) = \{\$ \} + Primeiro()) = \{\$, ()\}$   
 $Seguidor(E') = Seguidor(E') + Seguidor(E) = \{\$, ()\}$   
 $Seguidor(T) = Primeiro(E') - \epsilon + Seguidor(E) + Seguidor(E') = \{+, (), \$\}$   
 $Seguidor(T') = Seguidor(T) = \{+, (), \$\}$   
 $Seguidor(F) = Primeiro(T') - \epsilon + Seguidor(T) + Seguidor(T') = \{*, +, (), \$\}$

e)  $\langle \text{declaração} \rangle ::= \langle \text{if-decl} \rangle \mid \text{outra}$   
 $\langle \text{if-decl} \rangle ::= \text{if } (\langle \text{exp} \rangle) \langle \text{declaração} \rangle \langle \text{else-parte} \rangle$   
 $\langle \text{else-parte} \rangle ::= \text{else } \langle \text{declaração} \rangle \mid \epsilon$   
 $\langle \text{exp} \rangle ::= 0 \mid 1$

R.

$Primeiro(\text{declaração}) = Primeiro(\text{if-decl}) + \{\text{outra}\} = \{\text{if}, \text{outra}\}$   
 $Primeiro(\text{if-decl}) = \{\text{if}\}$   
 $Primeiro(\text{else-parte}) = \{\text{else}, \epsilon\}$

$\text{Primeiro}(\text{exp}) = \{ 0, 1 \}$

$\text{Seguidor}(\text{declaração}) = \{ \$ \} + \text{Primeiro}(\text{else-parte}) - \epsilon + \text{Seguidor}(\text{else-parte}) = \{ \$, \text{else} \}$

$\text{Seguidor}(\text{if-decl}) = \text{Seguidor}(\text{declaração}) = \{ \$, \text{else} \}$

$\text{Seguidor}(\text{else-parte}) = \text{Seguidor}(\text{if-decl}) = \{ \$, \text{else} \}$

$\text{Seguidor}(\text{exp}) = \{ ) \}$

Regras para determinar o Conjunto Primeiros

- Se  $X$  é terminal ou  $\epsilon$ , então  $\text{Primeiro}(X) = \{X\}$
- Se  $X$  é não-terminal e  $X ::= \alpha\alpha$  é uma produção, então se acrescenta  $\alpha$  ao conjunto  $\text{Primeiro}(X)$
- Se  $X$  é não-terminal e  $X ::= \epsilon$  é uma produção, então se acrescenta  $\epsilon$  ao conjunto  $\text{Primeiro}(X)$
- Se  $X ::= Y_1Y_2Y_3...Y_k$  é uma produção, então para todo  $i$  tal que todos  $Y_1...Y_{i-1}$  são não-terminais e  $\text{Primeiro}(Y_i)$  contém  $\epsilon$ , para  $j = 1, 2, ..., i-1$ , acrescente-se todo símbolo diferente de  $\epsilon$  de  $\text{primeiro}(Y_j)$  em  $\text{Primeiro}(X)$ . Se  $\epsilon ::= \text{Primeiro}(Y_i)$  para todo  $i = 1, 2, ..., k$ , então acrescente  $\epsilon$  a  $\text{Primeiro}(X)$

Regras para determinar o conjunto seguidor

- Se  $A$  for um símbolo inicial então  $\$$  pertence a  $\text{Seguidor}(A)$
- Se existe uma produção  $A ::= \alpha B\beta$ , e  $\beta$  é diferente de  $\epsilon$ , então tudo o que estiver em  $\text{Primeiro}(\beta)$ , exceto  $\epsilon$ , está em  $\text{Seguidor}(B)$
- Se existe uma produção  $A ::= \alpha B$ , ou uma produção  $A ::= \alpha B\beta$  e  $\epsilon$  está em  $\text{Primeiro}(\beta)$ , então tudo o que estiver em  $\text{Seguidor}(A)$  está em  $\text{Seguidor}(B)$

8) Construa os grafos sintáticos para as produções da gramática a seguir:

$\langle \text{declaração} \rangle ::= \langle \text{if-decl} \rangle \mid \text{outra}$   
 $\langle \text{if-decl} \rangle ::= \text{if} ( \langle \text{exp} \rangle ) \langle \text{declaração} \rangle$   
 $\quad \mid \text{if} ( \langle \text{exp} \rangle ) \langle \text{declaração} \rangle \text{ else } \langle \text{declaração} \rangle$   
 $\langle \text{exp} \rangle ::= 0 \mid 1$

R.

