

# Compiladores

## Aula 13

### Análise Sintática LL(1)

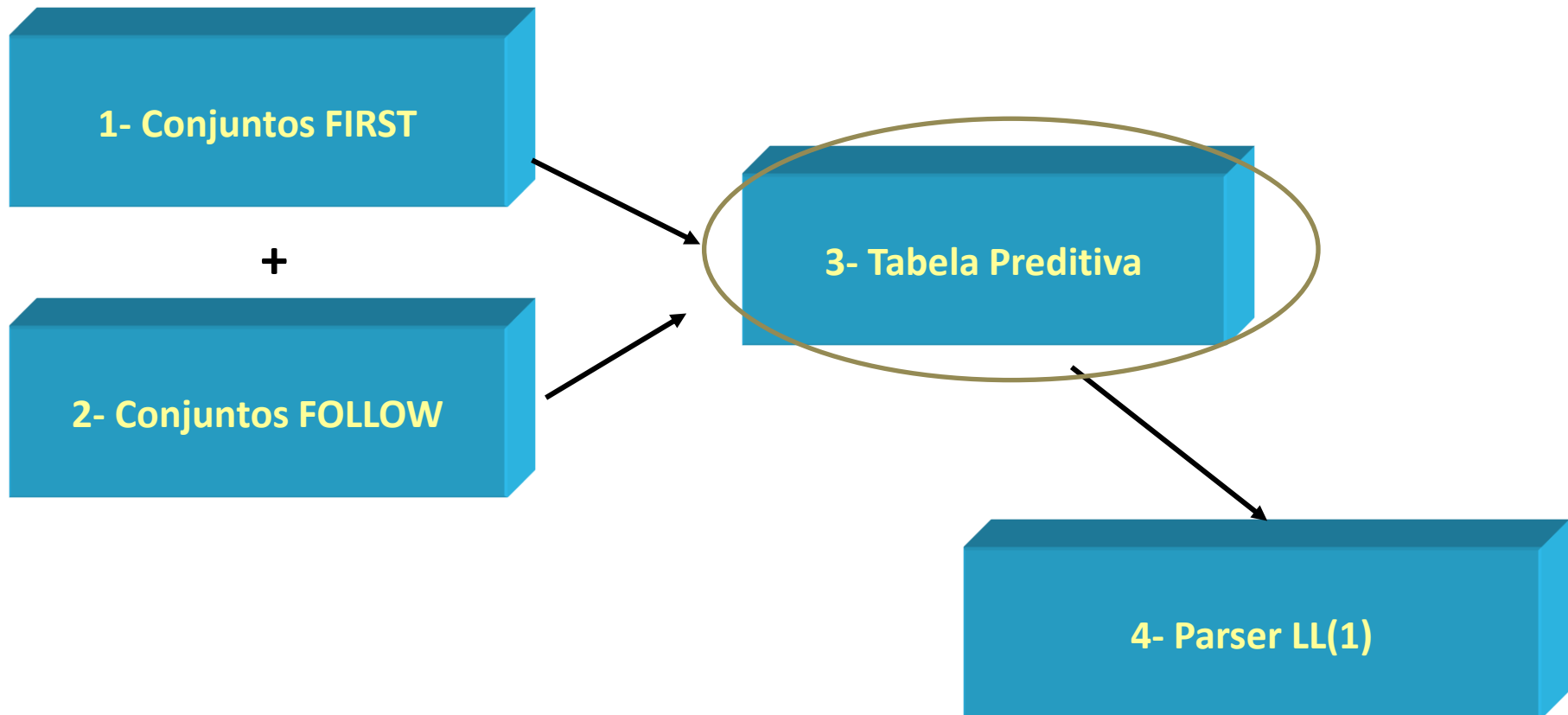
Prof. Dr. Luiz Eduardo G. Martins

UNIFESP



# Análise Sintática LL(1)

- Estratégia de construção do *parser* LL(1)



# Análise Sintática LL(1)

- Estratégia de construção do *parser* LL(1)
  - ❑ A construção da tabela preditiva para gramáticas complexas não é tarefa trivial
  - ❑ Para auxiliar na construção da tabela preditiva, adotamos a construção de conjuntos Primeiros (*FIRST*) e de Seqüência (*FOLLOW*)
  - ❑ Conjuntos *FIRST* ajudam a escolher as regras gramaticais quando a parte sentencial delas começam com símbolos não-terminais
  - ❑ Conjuntos *FOLLOW* ajudam a saber quais *tokens* podem suceder apropriadamente um símbolo não-terminal que pode desaparecer durante a derivação

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

- Dada uma gramática, deve ser criado um conjunto FIRST para cada símbolo da gramática, terminal ou não-terminal
- Seja  $X$  um símbolo gramatical, o conjunto  $\text{FIRST}(X)$  é composto por terminais, e possivelmente  $\epsilon$ , definido da seguinte maneira:
  - Se  $X$  for um terminal ou  $\epsilon$ , então  $\text{FIRST}(X) = \{X\}$
  - Se  $X$  for um não-terminal, então para cada escolha de produção  $X \rightarrow X_1X_2...X_n$   $\text{FIRST}(X)$  contém  $\text{FIRST}(X_1) - \{\epsilon\}$

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

– Adicionalmente:

- Se para algum  $i < n$ , todos os conjuntos  $FIRST(X_1), \dots, FIRST(X_i)$  contiverem  $\epsilon$ , então  $FIRST(X)$  conterà  $FIRST(X_{i+1}) - \{\epsilon\}$
- Se todos os conjuntos  $FIRST(X_1), \dots, FIRST(X_n)$  contiverem  $\epsilon$ , então  $FIRST(X)$  também conterà  $\epsilon$

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

- Observações sobre a construção dos conjuntos FIRST:

- O conjunto FIRST é formado apenas por símbolos terminais (e possivelmente  $\epsilon$ )
- A definição dos conjuntos FIRST funciona “à esquerda” das produções
- Um não-terminal  $A$  é anulável (ou seja, pode desaparecer) se e somente se  $\text{FIRST}(A)$  contiver  $\epsilon$

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

- Algoritmo para construção do conjunto FIRST

```
for cada não-terminal  $A$  do Primeiro( $A$ ) := {};  
while houver alterações em algum Primeiro( $A$ ) do  
  for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1X_2...X_n$  do  
     $k := 1$  ; Continue := true ;  
    while Continue = true and  $k \leq n$  do  
      acrescente Primeiro( $X_k$ ) - { $\epsilon$ } a Primeiro( $A$ ) ;  
      if  $\epsilon$  não pertencer a Primeiro( $X_k$ ) then Continue := false ;  
       $k := k + 1$  ;  
  if Continue = true then acrescente  $\epsilon$  a Primeiro( $A$ ) ;
```

---

Figura 4.6 Algoritmo para a computação de Primeiro( $A$ ) para todos os não-terminais  $A$ .

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

- Algoritmo para construção do conjunto FIRST

```
for cada não-terminal A do Primeiro(A) := {};  
while houver alterações em algum Primeiro(A) do  
  for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1X_2...X_n$  do  
    acrescente Primeiro( $X_1$ ) a Primeiro(A);
```

---

Figura 4.7 Algoritmo simplificado da Figura 4.6 na ausência de  $\epsilon$ -produções.



# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

- Exemplo (4.9 – Louden):

- Considere a gramática:

- $\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

- $\text{soma} \rightarrow + \mid -$

- $\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

- $\text{mult} \rightarrow *$

- $\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

Tabela 4.6 Computation dos conjuntos Primeiros para a gramática do Exemplo 4.9.

Regra gramatical	Passada 1	Passada 2	Passada 3
$exp \rightarrow exp$ $soma \quad termo$			
$exp \rightarrow termo$			$Primeiro(exp) = \{ (, \text{número} \}$
$soma \rightarrow +$	$Primeiro(soma) = \{ + \}$		
$soma \rightarrow -$	$Primeiro(soma) = \{ +, - \}$		
$termo \rightarrow termo$ $mult \quad fator$			
$termo \rightarrow fator$		$Primeiro(termo) = \{ (, \text{número} \}$	
$mult \rightarrow *$	$Primeiro(mult) = \{ * \}$		
$fator \rightarrow ( exp )$	$Primeiro(fator) = \{ ( \}$		
$fator \rightarrow \text{número}$	$Primeiro(fator) = \{ (, \text{número} \}$		

```

for cada não-terminal  $A$  do  $Primeiro(A) := \{ \}$ ;
while houver alterações em algum  $Primeiro(A)$  do
    for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do
        acrescente  $Primeiro(X_1)$  a  $Primeiro(A)$ ;
    
```

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FIRST

– Exemplo:

- Considere a gramática:

$\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

$\text{soma} \rightarrow + \mid -$

$\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

$\text{mult} \rightarrow *$

$\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

$\text{Primeiro}(\text{exp}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{termo}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{fator}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{soma}) = \{ +, - \}$

$\text{Primeiro}(\text{mult}) = \{ * \}$

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FOLLOW

- Necessários para a montagem da tabela preditiva, quando algum conjunto FIRST possui  $\epsilon$
- Dado um não-terminal  $A$ , o conjunto FOLLOW( $A$ ), composto por terminais e possivelmente  $\$$ , é definido como:
  1. Se  $A$  for o símbolo inicial, então  $\$$  pertence a FOLLOW( $A$ );
  2. Se houver uma produção  $B \rightarrow \alpha A \gamma$ , então FIRST( $\gamma$ ) –  $\{\epsilon\}$  pertence a FOLLOW( $A$ );
  3. Se houver uma produção  $B \rightarrow \alpha A \gamma$  tal que  $\epsilon$  pertença a FIRST( $\gamma$ ), então FOLLOW( $A$ ) contém FOLLOW( $B$ );

OBS: o símbolo  $\$$  indica final da entrada (se comporta como se fosse um *token* indicando fim de arquivo)

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FOLLOW

- Observações sobre a construção dos conjuntos FOLLOW:
  - ✓ O conjunto FOLLOW é formado apenas por símbolos terminais
  - ✓ O símbolo \$ indica final da entrada (se comporta como se fosse um *token*)
  - ✓  $\epsilon$  nunca é um elemento do conjunto FOLLOW  
( $\epsilon$  foi usado nos conjuntos FIRST apenas para marcar as cadeias que podem desaparecer)
  - ✓ Os conjuntos FOLLOW são definidos apenas para os símbolos não-terminais
  - ✓ A definição dos conjuntos FOLLOW funciona “à direita” das produções
  - ✓ Regras que não têm não-terminais à direita nada acrescentam à construção dos conjuntos FOLLOW

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FOLLOW

```
Seqüência(símbolo-inicial) := {$} ;  
for cada não-terminal A # símbolo-inicial do Seqüência(A) := { } ;  
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do  
  for cada produção  $A \rightarrow X_1X_2...X_n$  do  
    for each  $X_i$  que for não-terminal do  
      adicione Primeiro( $X_{i+1}X_{i+2}...X_n$ ) - { $\epsilon$ } a Seqüência( $X_i$ )  
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1}X_{i+2}...X_n = \epsilon$  *)  
      if  $\epsilon$  estiver em Primeiro ( $X_{i+1}X_{i+2}...X_n$ ) then  
        adicione Seqüência(A) a Seqüência( $X_i$ )
```

Figura 4.8 Algoritmo para a computação de conjuntos de Seqüência.

# Análise Sintática LL(1)

- Conjuntos FOLLOW

- Exemplo (4.12 – Louden)
- Considere novamente a gramática:

$\text{exp} \rightarrow \text{exp soma termo} \mid \text{termo}$

$\text{soma} \rightarrow + \mid -$

$\text{termo} \rightarrow \text{termo mult fator} \mid \text{fator}$

$\text{mult} \rightarrow *$

$\text{fator} \rightarrow (\text{exp}) \mid \text{NUM}$

$\text{Primeiro}(\text{exp}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{termo}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{fator}) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Primeiro}(\text{soma}) = \{ +, - \}$

$\text{Primeiro}(\text{mult}) = \{ * \}$

# Análise Sintática LL(1)

Tabela 4.8 Computação de conjuntos de Seqüência para a gramática do Exemplo 4.12.

Regra gramatical	Passada 1	Passada 2
$exp \rightarrow exp \text{ soma}$ $\text{termo}$	$Seqüência(exp) = \{\$, +, -\}$ $Seqüência(soma) = \{ (, \text{número} \}$ $Seqüência(termo) = \{\$, +, -\}$	$Seqüência(termo) = \{\$, +, -, *, )\}$
$exp \rightarrow termo$		
$termo \rightarrow termo \text{ mult}$ $\text{fator}$	$Seqüência(termo) = \{\$, +, -, *\}$ $Seqüência(mult) = \{ (, \text{número} \}$ $Seqüência(fator) = \{\$, +, -, *\}$	$Seqüência(fator) = \{\$, +, -, *, )\}$
$termo \rightarrow fator$		
$fator \rightarrow ( exp )$	$Seqüência(exp) = \{\$, +, -, )\}$	

```

Seqüência(símbolo-inicial) := { $ } ;
for cada não-terminal A # símbolo-inicial do Seqüência(A) := { } ;
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do
  for cada produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do
    for each  $X_i$  que for não-terminal do
      adicione Primeiro( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) - {  $\epsilon$  } a Seqüência( $X_i$ )
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n = \epsilon$  *)
      if  $\epsilon$  estiver em Primeiro( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) then
        adicione Seqüência(A) a Seqüência( $X_i$ )

```

```

Primeiro(exp) = { (, número }
Primeiro(termo) = { (, número }
Primeiro(fator) = { (, número }
Primeiro(soma) = { +, - }
Primeiro(mult) = { * }

```



# Análise Sintática LL(1)

- Exercício: construa os conjuntos First e Follow para a GLC abaixo

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \epsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \epsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid \text{número}$

$\text{Primeiro}(exp) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(exp') = \{ +, -, \epsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(soma) = \{ +, - \}$   
 $\text{Primeiro}(termo) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(termo') = \{ *, \epsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(mult) = \{ * \}$   
 $\text{Primeiro}(fator) = \{ (, \text{número} \}$

```
for cada não-terminal A do Primeiro(A) := {};  
while houver alterações em algum Primeiro(A) do  
  for cada escolha de produção  $A \rightarrow X_1X_2...X_n$  do  
    acrescente Primeiro( $X_1$ ) a Primeiro(A);
```

Figura 4.7 Algoritmo simplificado da Figura 4.6 na ausência de  $\epsilon$ -produções.

# Análise Sintática LL(1)

- Exercício: construa os conjuntos First e Follow para a GLC abaixo

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \varepsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \varepsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid \text{número}$

```
Seqüência(símbolo-inicial) := { $ } ;  
for cada não-terminal A # símbolo-inicial do Seqüência(A) := { } ;  
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do  
  for cada produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do  
    for each  $X_i$  que for não-terminal do  
      adicione Primeiro( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) - { $\varepsilon$ } a Seqüência( $X_i$ )  
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n = \varepsilon$  *)  
      if  $\varepsilon$  estiver em Primeiro ( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) then  
        adicione Seqüência(A) a Seqüência( $X_i$ )
```

Figura 4.8 Algoritmo para a computação de conjuntos de Seqüência.

$\text{Primeiro}(exp) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(exp') = \{ +, -, \varepsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(soma) = \{ +, - \}$   
 $\text{Primeiro}(termo) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(termo') = \{ *, \varepsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(mult) = \{ * \}$   
 $\text{Primeiro}(fator) = \{ (, \text{número} \}$

# Análise Sintática LL(1)

- Exercício: construa os conjuntos First e Follow para a GLC abaixo

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \varepsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \varepsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid \text{número}$

```
Seqüência(símbolo-inicial) := { $ } ;  
for cada não-terminal A # símbolo-inicial do Seqüência(A) := { } ;  
while houver alterações em algum conjunto de Seqüência do  
  for cada produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  do  
    for each  $X_i$  que for não-terminal do  
      adicione Primeiro( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) - {  $\varepsilon$  } a Seqüência( $X_i$ )  
      (* Nota: se  $i=n$ , então  $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n = \varepsilon$  *)  
      if  $\varepsilon$  estiver em Primeiro ( $X_{i+1} X_{i+2} \dots X_n$ ) then  
        adicione Seqüência(A) a Seqüência( $X_i$ )
```

Figura 4.8 Algoritmo para a computação de conjuntos de Seqüência.

$\text{Primeiro}(exp) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(exp') = \{ +, -, \varepsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(soma) = \{ +, - \}$   
 $\text{Primeiro}(termo) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Primeiro}(termo') = \{ *, \varepsilon \}$   
 $\text{Primeiro}(mult) = \{ * \}$   
 $\text{Primeiro}(fator) = \{ (, \text{número} \}$

$\text{Seqüência}(exp) = \{ \$, ) \}$   
 $\text{Seqüência}(exp') = \{ \$, ) \}$   
 $\text{Seqüência}(soma) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Seqüência}(termo) = \{ \$, ), +, - \}$   
 $\text{Seqüência}(termo') = \{ \$, ), +, - \}$   
 $\text{Seqüência}(mult) = \{ (, \text{número} \}$   
 $\text{Seqüência}(fator) = \{ \$, ), +, -, * \}$

# Análise Sintática LL(1)

- Construção da **Tabela Preditiva**
  - Repetir os dois passos a seguir para cada não-terminal  $A$  e escolha de produção  $A \rightarrow \alpha$ 
    - Para cada terminal  $a$  em  $\text{FIRST}(\alpha)$ , adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$
    - Se  $\epsilon$  pertencer a  $\text{FIRST}(\alpha)$ , para cada elemento  $a$  de  $\text{FOLLOW}(A)$  adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A, a]$

# Análise Sintática LL(1)

- Exemplo de construção de tabela preditiva (4.15 – Louden)

$exp \rightarrow termo\ exp'$   
 $exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \varepsilon$   
 $soma \rightarrow + \mid -$   
 $termo \rightarrow fator\ termo'$   
 $termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \varepsilon$   
 $mult \rightarrow *$   
 $fator \rightarrow ( exp ) \mid número$

$Primeiro(exp) = \{ (, número \}$   
 $Primeiro(exp') = \{ +, -, \varepsilon \}$   
 $Primeiro(soma) = \{ +, - \}$   
 $Primeiro(termo) = \{ (, número \}$   
 $Primeiro(termo') = \{ *, \varepsilon \}$   
 $Primeiro(mult) = \{ * \}$   
 $Primeiro(fator) = \{ (, número \}$

$Seqüência(exp) = \{ \$, ) \}$   
 $Seqüência(exp') = \{ \$, ) \}$   
 $Seqüência(soma) = \{ (, número \}$   
 $Seqüência(termo) = \{ \$, ), +, - \}$   
 $Seqüência(termo') = \{ \$, ), +, - \}$   
 $Seqüência(mult) = \{ (, número \}$   
 $Seqüência(fator) = \{ \$, ), +, -, * \}$

# Análise Sintática LL(1)

Primeiro( $exp$ ) = { (, **número** }

Primeiro( $exp'$ ) = { +, -,  $\epsilon$  }

Primeiro( $soma$ ) = { +, - }

Primeiro( $termo$ ) = { (, **número** }

Primeiro( $termo'$ ) = { \*,  $\epsilon$  }

Primeiro( $mult$ ) = { \* }

Primeiro( $fator$ ) = { (, **número** }

Seqüência( $exp$ ) = { \$, ) }

Seqüência( $exp'$ ) = { \$, ) }

Seqüência( $soma$ ) = { (, **número** }

Seqüência( $termo$ ) = { \$, ), +, - }

Seqüência( $termo'$ ) = { \$, ), +, - }

Seqüência( $mult$ ) = { (, **número** }

Seqüência( $fator$ ) = { \$, ), +, -, \* }

Para cada terminal  $a$  em FIRST( $\alpha$ ), adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A,a]$

Se  $\epsilon$  pertencer a FIRST( $\alpha$ ), para cada elemento  $a$  de FOLLOW( $A$ ) adicione  $A \rightarrow \alpha$  a  $M[A,a]$

Tabela 4.4 Tabela de análise sintática LL(1) para a gramática da Figura 4.4.

$M[N, T]$	(	<b>número</b>	)	+	-	*	\$
$exp$	$exp \rightarrow$ $termo\ exp'$	$exp \rightarrow$ $termo\ exp'$					
$exp'$			$exp' \rightarrow \epsilon$	$exp' \rightarrow$ $soma$ $termo\ exp'$	$exp' \rightarrow$ $soma$ $termo\ exp'$		$exp' \rightarrow \epsilon$
$soma$				$soma \rightarrow$ +	$soma \rightarrow$ -		
$termo$	$termo \rightarrow$ $fator$ $termo'$	$termo \rightarrow$ $fator$ $termo'$					
$termo'$			$termo' \rightarrow$ $\epsilon$	$termo' \rightarrow \epsilon$	$termo' \rightarrow \epsilon$	$termo' \rightarrow$ $mult$ $fator$ $termo'$	$termo' \rightarrow$ $\epsilon$
$mult$						$mult \rightarrow$ *	
$fator$	$fator \rightarrow$ ( $exp$ )	$fator \rightarrow$ <b>número</b>					

$exp \rightarrow termo\ exp'$

$exp' \rightarrow soma\ termo\ exp' \mid \epsilon$

$soma \rightarrow + \mid -$

$termo \rightarrow fator\ termo'$

$termo' \rightarrow mult\ fator\ termo' \mid \epsilon$

$mult \rightarrow *$

$fator \rightarrow ( exp ) \mid \textbf{número}$

# Análise Sintática LL(1)

- Bibliografia consultada

LOUDEN, K. C. **Compiladores: princípios e práticas.**

São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004

(Cap. 4)

MERINO, M. **Notas de Aulas - Compiladores,**

UNIMEP, 2006.