

# Tradução dirigida pela sintaxe

## Definições L-atribuídas

**Prof. Edson Alves**

Faculdade UnB Gama

# Sumário

1. Definições L-atribuídas
2. Tradução *top-down*

## Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical

## Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade

## Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade
- ▶ Nesta ordem, os atributos herdados dos filhos do nó são todos computados antes que os atributos sintetizados do nó sejam computados

## Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade
- ▶ Nesta ordem, os atributos herdados dos filhos do nó são todos computados antes que os atributos sintetizados do nó sejam computados
- ▶ Mesmo que a árvore sintática não seja construída explicitamente, é importante compreender a ordem de avaliação dos atributos de seus nós e sua relação com travessias em profundidade

## Ordem natural de avaliação dos atributos

**Input:** Uma árvore sintática e o nó raiz, que deve ser o argumento da primeira chamada

**Output:** Os valores de todos os atributos dos nós

```
procedure VISIT(node)  
  for cada filho m de n, da esquerda para a direita do  
    avalie os atributos herdados de m  
    VISIT(m)  
  avalie os atributos sintetizados de n
```

# Definições L-atribuídas

## Definição

Uma definição dirigida pela sintaxe é L-atribuída (O L vem do inglês *left*) se cada atributo herdado de  $X_j$ ,  $1 \leq j \leq n$ , do lado direito da produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  depende somente

1. dos atributos dos símbolos  $X_1, X_2, \dots, X_{j-1}$ , à esquerda de  $X_j$  na produção, e
2. dos atributos herdados de  $A$ .



## Definições L-atribuídas

### Definição

Uma definição dirigida pela sintaxe é L-atribuída (O L vem do inglês *left*) se cada atributo herdado de  $X_j$ ,  $1 \leq j \leq n$ , do lado direito da produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  depende somente

1. dos atributos dos símbolos  $X_1, X_2, \dots, X_{j-1}$ , à esquerda de  $X_j$  na produção, e
2. dos atributos herdados de  $A$ .

Observe que toda definição S-atribuída é também L-atribuída, uma vez que as restrições da definição se aplicam somente à atributos herdados.

## Exemplo de definição dirigida à sintaxe que não é L-atribuída

Produção	Regra semântica
$A \rightarrow LM$	$L.h := l(A.h)$ $M.h := m(L.s)$ $A.s := f(M.s)$
$A \rightarrow QR$	$R.h := r(A.h)$ $Q.h := q(R.s)$ $A.s := f(Q.s)$

## Exemplo de definição dirigida à sintaxe que não é L-atribuída

Produção	Regra semântica
$A \rightarrow LM$	$L.h := l(A.h)$ $M.h := m(L.s)$ $A.s := f(M.s)$
$A \rightarrow QR$	$R.h := r(A.h)$ $Q.h := q(R.s)$ $A.s := f(Q.s)$

Esta definição não é L-atribuída porque o atributo herdado  $Q.h$  depende do atributo sintetizado  $R.s$ , e  $R$  se encontra à direita de  $Q$  na produção.

## Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções

## Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática

## Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática
- ▶ Nos esquemas de tradução os atributos podem ser tanto herdados quanto sintetizados

## Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática
- ▶ Nos esquemas de tradução os atributos podem ser tanto herdados quanto sintetizados
- ▶ Em geral, quando os atributos de cada símbolo  $X_i$  são cadeias, o atributo de uma produção  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$  será a cadeia formada pela concatenação dos atributos de  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , nesta ordem

## Esquema de tradução de expressões infixas para posfixas

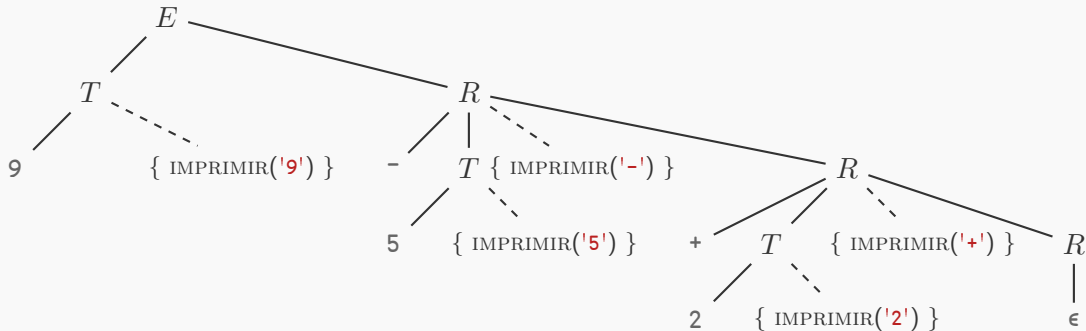
$$E \rightarrow TR$$

$$R \rightarrow \mathbf{op\_aditivo} \ T \ \{\text{IMPRIMIR}(\mathbf{op\_aditivo.lexema})\} \ R_1 \mid \epsilon$$

$$T \rightarrow \mathbf{num} \ \{\text{IMPRIMIR}(\mathbf{num.val})\}$$



# Árvore sintática para a expressões $1-2+3$



## Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica

## Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado

## Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições

## Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições
- ▶ O caso mais simples ocorre quando todos os atributos são sintetizados: basta adicionar uma atribuição a cada regra semântica e colocar a ação no lado direito da produção

## Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições
- ▶ O caso mais simples ocorre quando todos os atributos são sintetizados: basta adicionar uma atribuição a cada regra semântica e colocar a ação no lado direito da produção
- ▶ Por exemplo, a regra semântica  $T.val := T_1.val \times F.val$ , associada a produção  $T \rightarrow T_1 \times F$ , deve ser representada na produção da seguinte maneira:

$$T \rightarrow T_1 \times F \{ T.val := T_1.val \times F.val \}$$

## Restrições para o cálculo de atributos no caso geral

Se o esquema de tradução possui tanto atributos sintetizados quanto atributos herdados, devem ser adotadas as seguintes restrições:

1. Um atributo herdado para um símbolo no lado direito de uma produção deve ser computado por uma ação que antecede o símbolo.
2. Uma ação não pode referenciar um atributo sintetizado de um símbolo à direita da ação.
3. Um atributo sintetizado para um não-terminal à esquerda só pode ser computado após o cálculo de todos os atributos que ele referencie.

## Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$S \rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\}$$

$$A \rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\}$$



## Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições

## Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições
- Isto porque a ação semântica  $\text{IMPRIMIR}(A.in)$  não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos  $A_1.in$  e  $A_2.in$  só serão definidos após a visita ao nós que os representam

## Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições
- Isto porque a ação semântica  $\text{IMPRIMIR}(A.in)$  não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos  $A_1.in$  e  $A_2.in$  só serão definidos após a visita ao nós que os representam
- Esta violação poderia ser removida se a ação semântica precedesse a produção:

$$S \rightarrow \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} A_1 A_2$$

## Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições
- Isto porque a ação semântica  $\text{IMPRIMIR}(A.in)$  não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos  $A_1.in$  e  $A_2.in$  só serão definidos após a visita ao nós que os representam
- Esta violação poderia ser removida se a ação semântica precedesse a produção:

$$S \rightarrow \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} A_1 A_2$$

- É sempre possível ajustar o esquema de tradução de forma que as três restrições sejam atendidas

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

Produção	Regra semântica
$S \rightarrow B$	$B.tp := 10$ $S.lg := B.lg$
$B \rightarrow B_1 B_2$	$B_1.tp := B.tp$ $B_2.tp := B.tp$ $B.lg := \max(B_1.lg, B_2.lg)$
$B \rightarrow B_1 \textbf{ sub } B_2$	$B_1.tp := B.tp$ $B_2.tp := \text{COMPRIMIR}(B.tp)$ $B.lg := \text{DESLOC}(B_1.lg, B_2.lg)$
$B \rightarrow \textbf{texto}$	$B.lg := \textbf{texto.l} \times B.tp$

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção  $B \rightarrow BB$  representa a justaposição de dois quadros, e a produção  $B \rightarrow B \text{ \textbf{sub} } B$  representa um quadro seguido de um quadro subscrito



## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção  $B \rightarrow BB$  representa a justaposição de dois quadros, e a produção  $B \rightarrow B \text{ sub } B$  representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção  $B \rightarrow BB$  representa a justaposição de dois quadros, e a produção  $B \rightarrow B \text{ sub } B$  representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado  $tp$  (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e  $lg$  é a largura do quadro

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção  $B \rightarrow BB$  representa a justaposição de dois quadros, e a produção  $B \rightarrow B \text{ sub } B$  representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado  $tp$  (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e  $lg$  é a largura do quadro
- ▶ A função  $\text{COMPRIMIR}(B)$  retorna o tamanho de  $B$ , reduzido em 30% e a função  $\text{DESLOC}(B_1, B_2)$  permite o deslocamento do bloco  $B_2$  para baixo ao computar a largura do quadro

## Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal  $B$  (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção  $B \rightarrow BB$  representa a justaposição de dois quadros, e a produção  $B \rightarrow B \text{ sub } B$  representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado  $tp$  (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e  $lg$  é a largura do quadro
- ▶ A função  $\text{COMPRIMIR}(B)$  retorna o tamanho de  $B$ , reduzido em 30% e a função  $\text{DESLOC}(B_1, B_2)$  permite o deslocamento do bloco  $B_2$  para baixo ao computar a largura do quadro
- ▶ Esta definição é L-atribuída

## Esquema de tradução para tamanho e largura de quadros

$S \rightarrow$	$\{B.tp := 10\}$
$B \rightarrow$	$\{S.lg := B.lg\}$
$B \rightarrow$	$\{B_1.tp := B.tp\}$
$B_1 \rightarrow$	$\{B_2.tp := B.tp\}$
$B_2 \rightarrow$	$\{B.lg := \max(B_1.lg, B_2.lg)\}$
$B \rightarrow$	$\{B_1.tp := B.tp\}$
$B_1 \rightarrow$	$\{B_2.tp := \text{COMPRIMIR}(B.tp)\}$
$B_2 \rightarrow$	$\{B.lg := \text{DESLOC}(B_1.lg, B_2.lg)\}$
$B \rightarrow \text{texto}$	$\{B.lg := \text{texto}.l \times B.tp\}$

## Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente

## Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural

## Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo



## Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo
- ▶ Contudo, a eliminação à esquerda, sem o devido cuidado, pode modificar a associatividade do operador e, conseqüentemente, alterar o resultado das expressões

## Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo
- ▶ Contudo, a eliminação à esquerda, sem o devido cuidado, pode modificar a associatividade do operador e, conseqüentemente, alterar o resultado das expressões
- ▶ Compare as duas expressões abaixo, onde cada linha com uma associatividade diferente

$$\begin{array}{ll} 1 - 2 - 3 = (1 - 2) - 3 = (-1) - 3 = -4 & \text{A Associatividade à esquerda} \\ 1 - 2 - 3 = 1 - (2 - 3) = 1 - (-1) = 2 & \text{A Associatividade à direita} \end{array}$$

# Esquema de tradução com uma gramática recursiva à esquerda

$E \rightarrow E_1 + T$	$\{E.val := E_1.val + T.val\}$
$E \rightarrow E_1 - T$	$\{E.val := E_1.val - T.val\}$
$E \rightarrow T$	$\{E.val := T.val\}$
$T \rightarrow (E)$	$\{T.val := E.val\}$
$T \rightarrow \mathbf{num}$	$\{T.val := \mathbf{num.val}\}$

# Esquema de tradução transformado com uma gramática recursiva à direita

$E \rightarrow$	$T$	$\{R.h := T.val\}$
	$R$	$\{E.val := R.s\}$
$R \rightarrow$	$+$	
	$T$	$\{R_1.h := R.h + T.val\}$
	$R_1$	$\{R.s := R_1.s\}$
$R \rightarrow$	$-$	
	$T$	$\{R_1.h := R.h - T.val\}$
	$R_1$	$\{R.s := R_1.s\}$
$R \rightarrow$	$\epsilon$	$\{R.s := R.h\}$
$T \rightarrow$	$($	
	$E$	
	$)$	$\{T.val := E.val\}$
$T \rightarrow$	<b>num</b>	$\{T.val := \mathbf{num.val}\}$

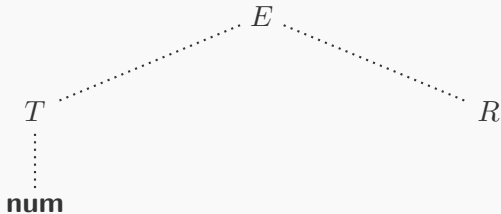
## Avaliação da expressão $1-2+3$

$$E$$

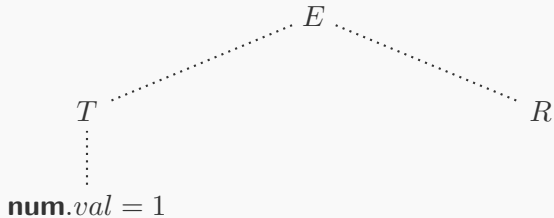
## Avaliação da expressão $1-2+3$



## Avaliação da expressão $1-2+3$

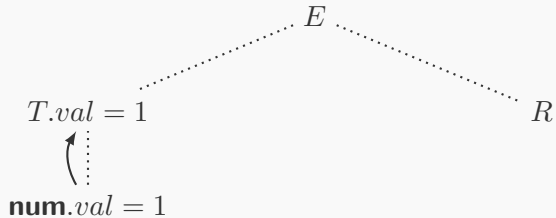


## Avaliação da expressão $1-2+3$

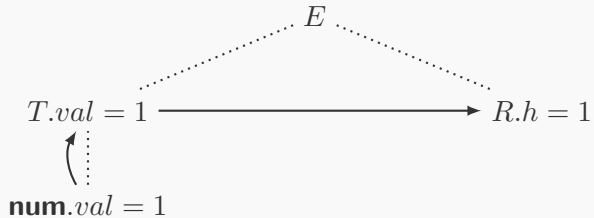




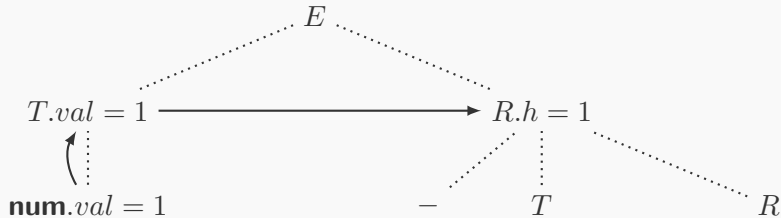
## Avaliação da expressão $1-2+3$



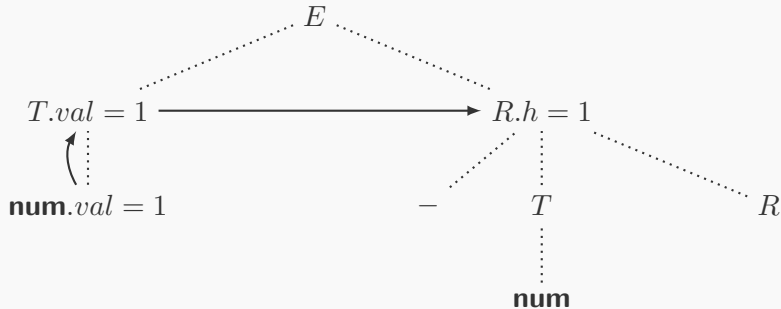
## Avaliação da expressão $1-2+3$



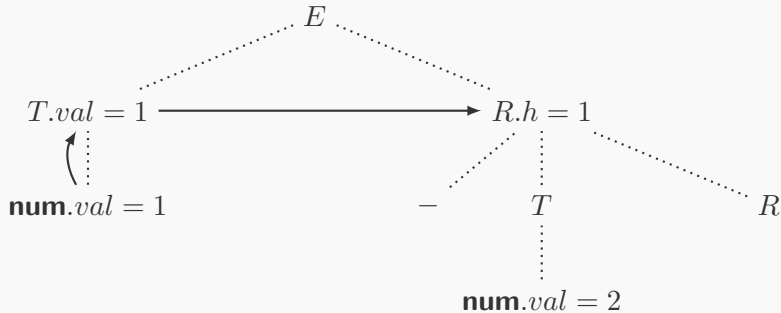
## Avaliação da expressão $1-2+3$



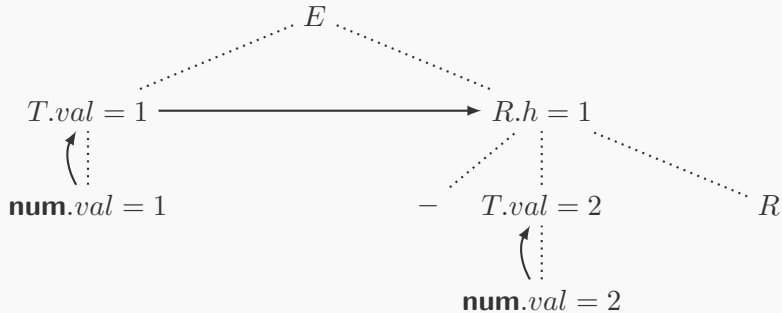
# Avaliação da expressão $1-2+3$



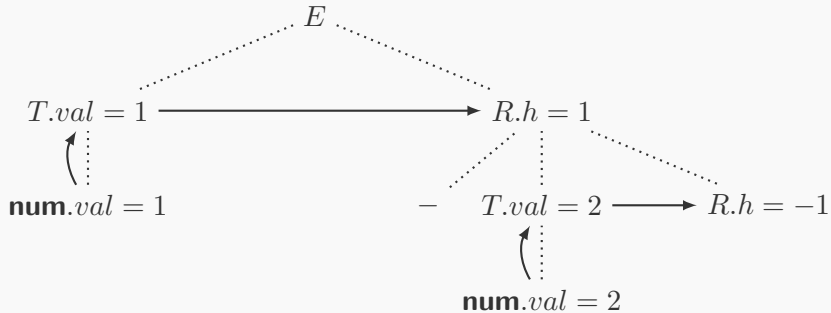
# Avaliação da expressão $1-2+3$



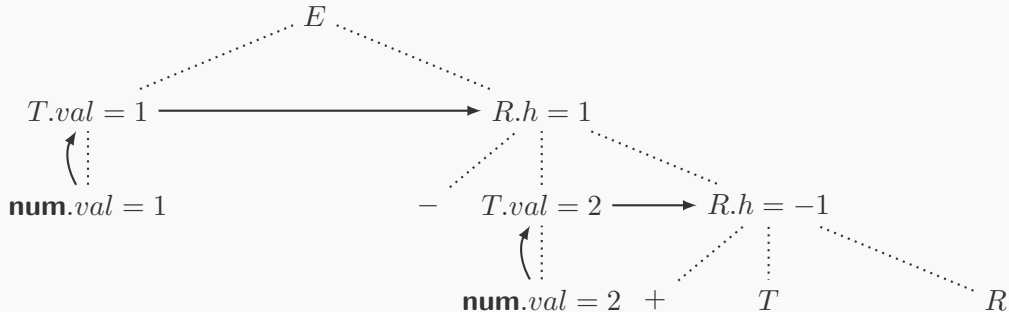
# Avaliação da expressão $1-2+3$



# Avaliação da expressão $1-2+3$

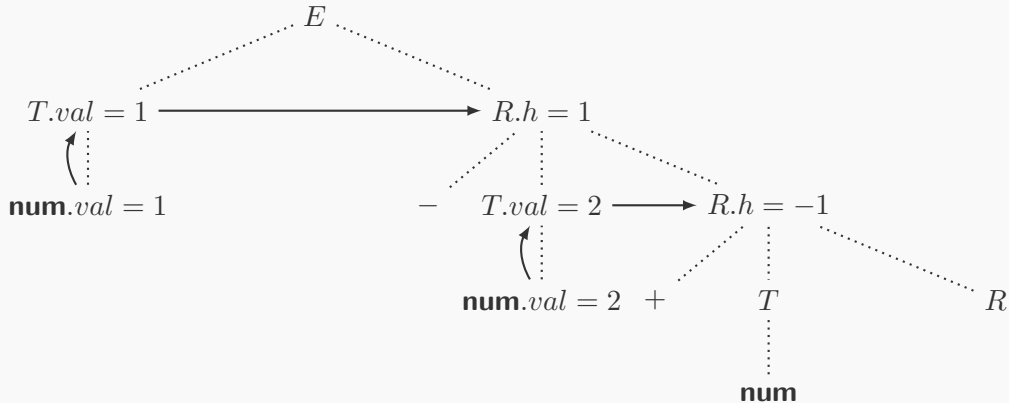


# Avaliação da expressão $1-2+3$

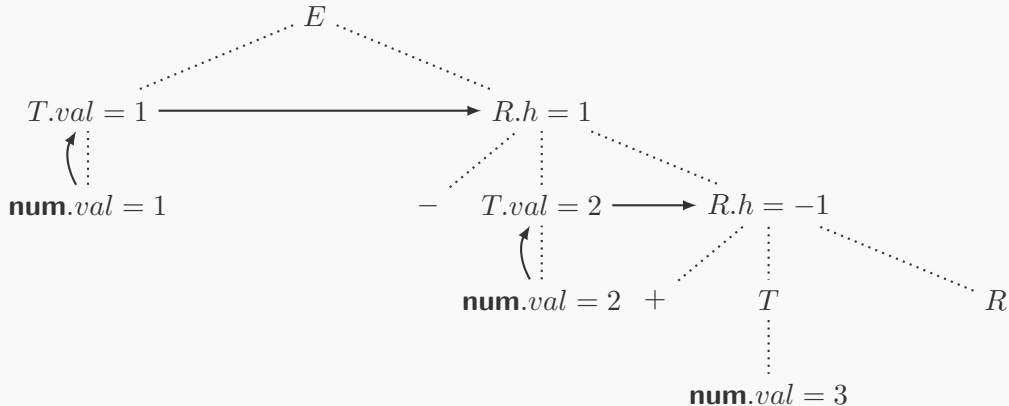




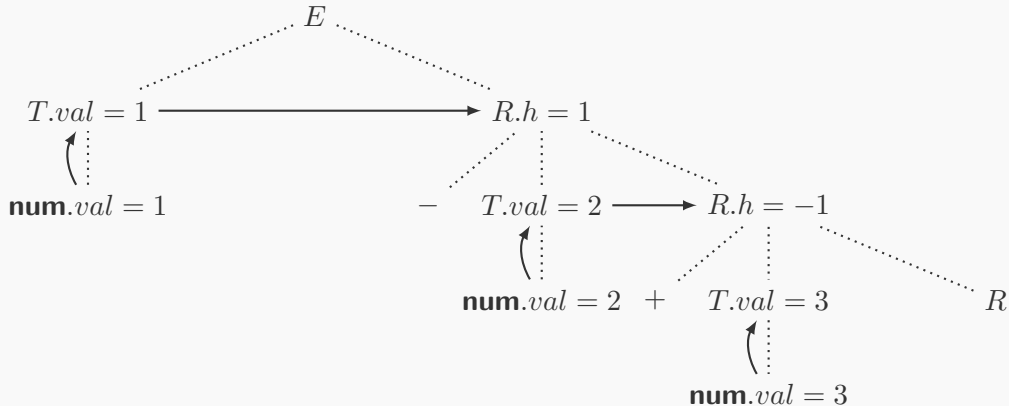
# Avaliação da expressão $1-2+3$



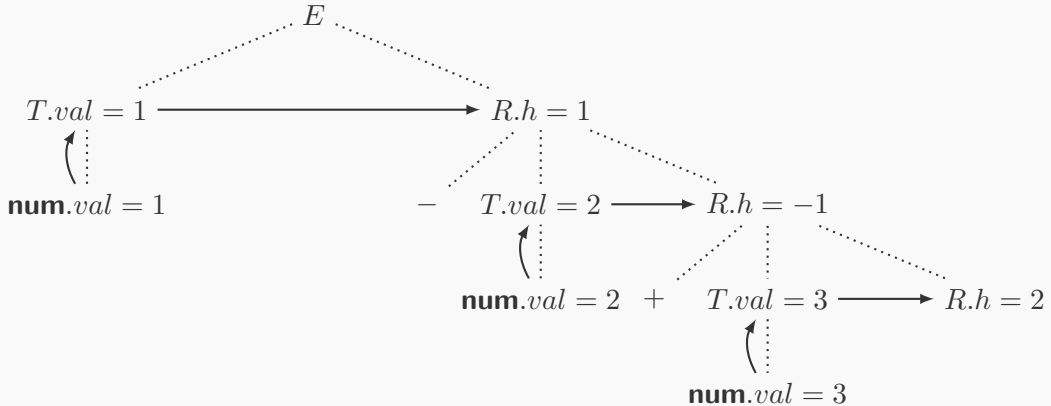
# Avaliação da expressão $1-2+3$



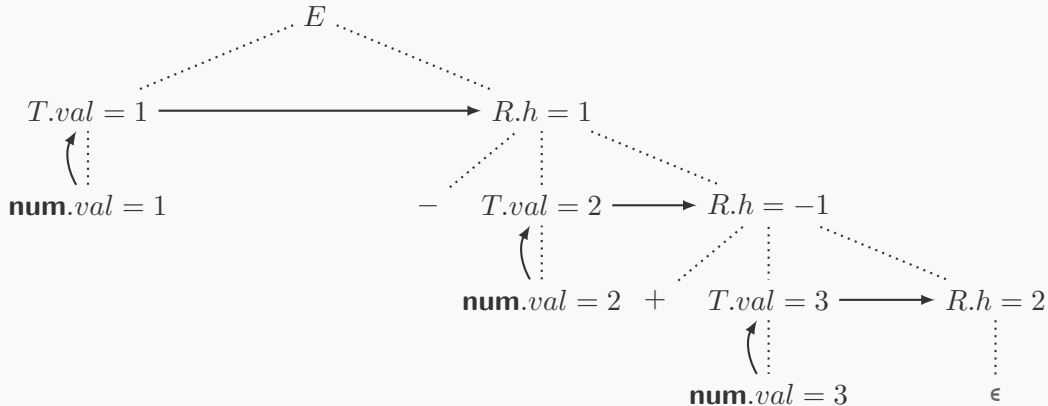
# Avaliação da expressão $1-2+3$



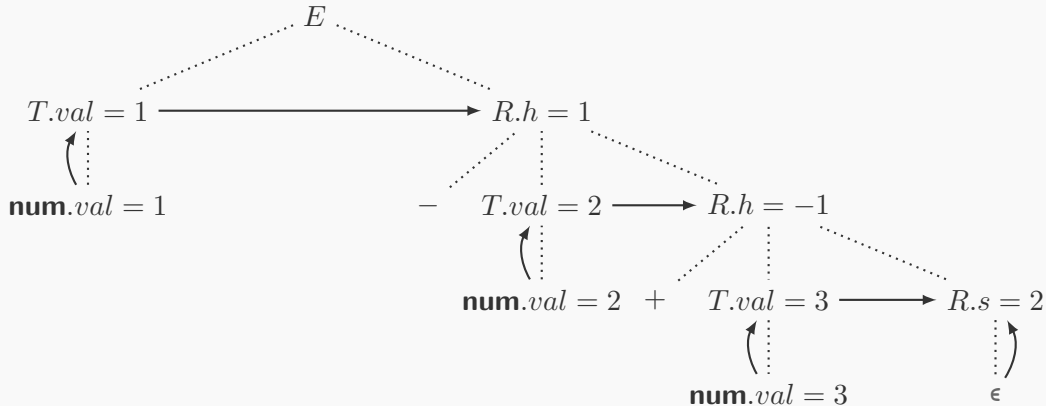
# Avaliação da expressão $1-2+3$



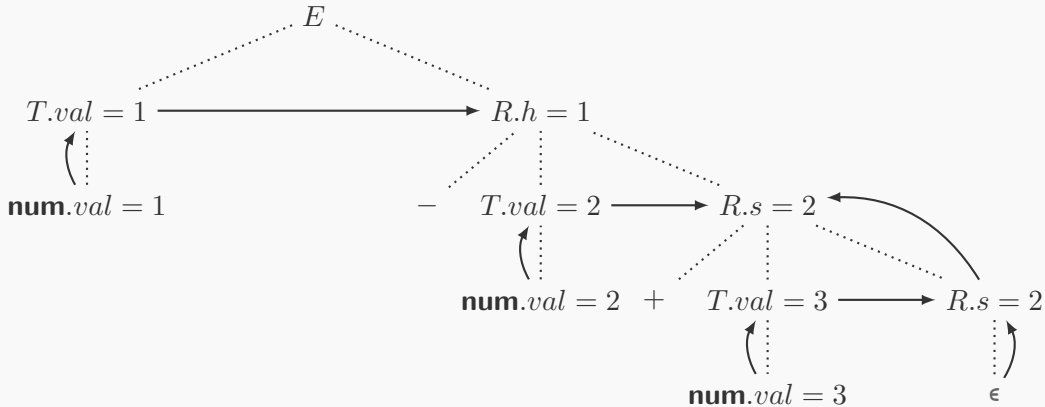
# Avaliação da expressão $1-2+3$



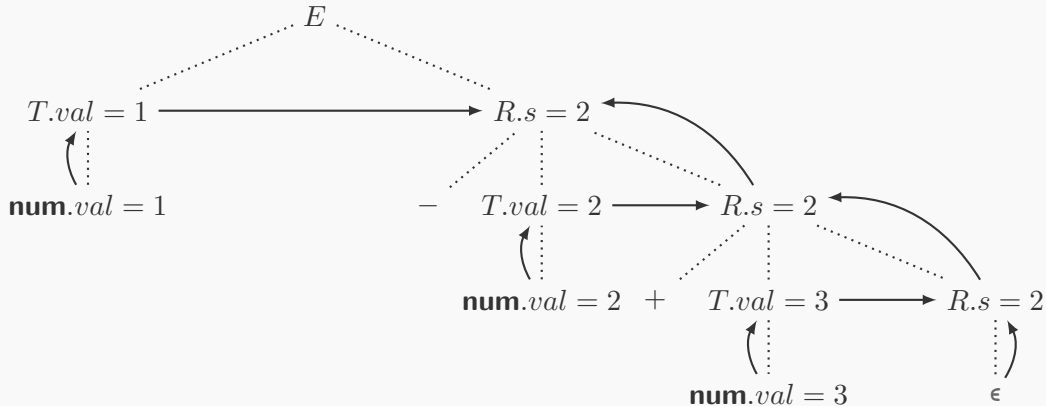
# Avaliação da expressão $1-2+3$



## Avaliação da expressão 1-2+3

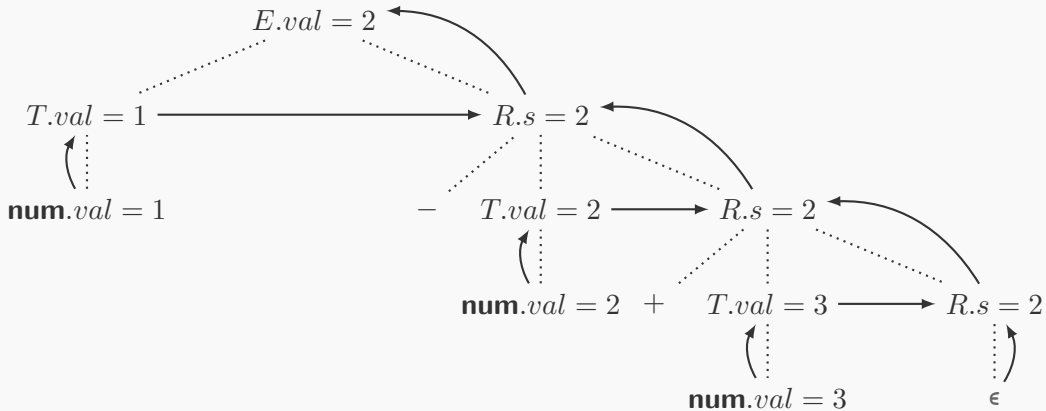


# Avaliação da expressão $1-2+3$





# Avaliação da expressão $1-2+3$



## Referências

1. **AHO**, Alfred V, **SETHI**, Ravi, **ULLMAN**, Jeffrey D. *Compiladores: Princípios, Técnicas e Ferramentas*, LTC Editora, 1995.