

# Compiladores - Análise Ascendente

---

Fabio Mascarenhas – 2015.1

<http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/comp>

# Análise Descendente vs. Ascendente

---

- As técnicas de análise que vimos até agora (recursiva com retrocesso, recursiva preditiva, LL(1) de tabela) usam a mesma estratégia de análise: a *análise descendente*, ou *top-down*
- Vamos ver agora uma outra estratégia de análise, a *ascendente*, ou *bottom-up*, e as técnicas que a utilizam
- A diferença mais visível entre as duas é a forma de construção da árvore: na análise descendente construímos a árvore de cima para baixo, começando pela raiz, e na ascendente de baixo para cima, começando pelas folhas

# Análise Ascendente

---

- A análise ascendente é mais complicada de implementar, tanto para um analisador escrito à mão (o que é muito raro) quanto para geradores
- Mas é mais geral, o que quer dizer que impõe menos restrições à gramática
- Por exemplo, recursão à esquerda e prefixos em comum não são problemas para as técnicas de análise ascendente
- Vamos usar um exemplo que deixa essas vantagens bem claras

# Gramática de Expressões

---

- Vamos usar como exemplo uma gramática de expressões simplificada:

$E \rightarrow E + T$

$E \rightarrow E - T$

$E \rightarrow T$

$T \rightarrow T * F$

$T \rightarrow F$

$F \rightarrow - F$

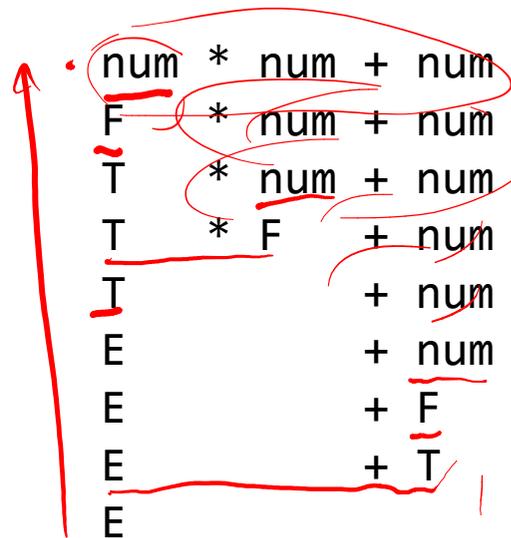
$F \rightarrow \text{num}$

$F \rightarrow ( E )$

- Vamos analisar a cadeia  $\text{num} * \text{num} + \text{num}$

# Reduções

- A análise ascendente analisa uma cadeia através de *reduções*, aplicando as regras da gramática ao contrário:



- Vamos ler a sequência de reduções de trás para a frente:  $\text{E} \rightarrow \text{E} + \text{T} \rightarrow \text{E} + \text{F} \rightarrow \text{E} + \text{num} \rightarrow \text{T} + \text{num} \rightarrow \text{T} * \text{F} + \text{num} \rightarrow \text{T} * \text{num} + \text{num} \rightarrow \text{F} * \text{num} + \text{num} \rightarrow \text{num} * \text{num} + \text{num}$

# Reduções vs derivações

---

- A sequência de reduções da análise ascendente equivale a uma *derivação mais à direita*, lida de trás pra frente
- Lembre-se que, para uma gramática não ambígua, cada entrada só pode ter uma única derivação mais à direita
- Isso quer dizer que a sequência de reduções também é única! O trabalho do analisador é então achar qual a próxima redução que tem que ser feita a cada passo

# Exercício

- Qual a sequência de reduções para a cadeia  $- ( \text{num} + \text{num} ) - \text{num}$

$- ( \text{num} + \text{num} ) - \text{num}$

$- ( F + \text{num} ) - \text{num}$

$- ( T + \text{num} ) - \text{num}$

$- ( E + \text{num} ) - \text{num}$

$- ( E + F ) - \text{num}$

$- ( E + T ) - \text{num}$

$- ( E ) - \text{num}$

$- F - \text{num}$

$F - \text{num}$

$T - \text{num}$

$E - \text{num}$

$E - F$

$E - T$

$E$

$E \rightarrow E + T$

$E \rightarrow E - T$

$E \rightarrow T$

$T \rightarrow T * F$

$T \rightarrow F$

$F \rightarrow - F$

$F \rightarrow \text{num}$

$F \rightarrow ( E )$

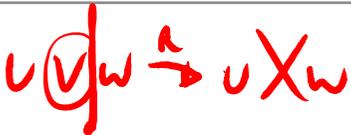
# Análise shift-reduce

---

- As reduções da análise ascendente formam uma derivação mais à direita de trás para frente
- Tomemos o passo da análise ascendente que leva a string  $uvw$  para  $uXw$  pela redução usando uma regra  $X \rightarrow v$
- O pedaço  $w$  da string só tem terminais, pois essa redução corresponde ao passo  $uXw \rightarrow uvw$  de uma derivação mais à direita
- Isso implica que a cada passo da análise temos um *sufixo* que corresponde ao resto da entrada que ainda não foi reduzido

# Análise shift-reduce

---

- Vamos marcar o foco atual da análise com uma | 
- À direita desse foco temos apenas terminais ainda não reduzidos
- À esquerda temos uma mistura de terminais e não-terminais
- Imediatamente à esquerda do foco temos um potencial candidato à redução
- O foco começa no início da entrada
- A *análise shift-reduce* funciona tomando uma de duas ações a cada passo: *shift*, que desloca o foco para à direita, e *reduce*, que faz uma redução

# Shift e reduce

|w

- Shift: move o foco uma posição à direita
  - $A B C | x y z \Rightarrow A B C x | y z$  é uma ação *shift*
- Reduce: reduz o que está imediatamente à esquerda do foco usando uma produção
  - Se  $A \rightarrow x y$  é uma produção, então  $C b x y | i j k \Rightarrow C b A | i j k$  é uma ação *reduce*  $A \rightarrow x y$
- Acontece um erro sintático quando não se pode tomar nenhuma das duas ações, e reconhecemos a entrada quando o chegamos a  $S |$ , onde S é o símbolo inicial

# Exercício

- Qual a sequência de ações para a cadeia - ( num + num ) - num

S | - ( num + num ) - num

R6 - ( E + num ) - num

S 6 - | num

S - | ( num + num ) - num

R4 - ( E + F | ) - num

R6 E - num |

S - ( | num + num ) - num

R0 - ( E + T | ) - num

R4 E - F |

R2 E - T |

R6 - ( num | + num ) - num

S - ( E | ) - num

E | ✓

R4 - ( F | + num ) - num

R7 - ( E ) | - num

R2 - ( T | + num ) - num

R5 - F | - num

S - ( E | + num ) - num

R4 F | - num

S - ( E + | num ) - num

R2 T | - num

S E | - num

- 0 E -> E + T
- 1 E -> E - T
- 2 E -> T
- 3 T -> T \* F
- 4 T -> F
- 5 F -> - F
- 6 F -> num
- 7 F -> ( E )

# Implementação

---

- O que está à esquerda do foco pode ser implementado usando uma pilha
- O foco é o topo da pilha mais uma posição na entrada
- A ação de *shift* empilha o próximo token e incrementa a posição
- A ação de *reduce*  $A \rightarrow w$ :
  - Desempilha  $|w|$  símbolos (que devem formar  $w$ , ou a redução estaria errada)
  - Empilha  $A$   


# Escolhas e conflitos

---

- As técnicas de análise ascendente usam a análise shift-reduce como base, a diferença é a estratégia que elas usam para escolher entre ações de shift e reduce
- Problemas na gramática (como ambiguidade), ou limitações da técnica específica adotada, pode levar a *conflitos*
  - Um conflito *shift-reduce* é quando o analisador não tem como decidir entre uma (ou mais) ações de shift e uma ação reduce, o que normalmente acontece por limitações da técnica escolhida
  - Um conflito *reduce-reduce* é quando o analisador não tem como decidir entre duas ou mais ações de reduce, o que normalmente é um *bug* na gramática

# Handles

---

- Mas como o analisador escolhe qual ação deve tomar?
- Uma escolha errada pode levar a um beco sem saída, mesmo para uma entrada válida
- Intuição: devemos reduzir se a redução vai nos levar um passo para trás em uma derivação mais à direita, e “shiftar” caso contrário
- Em um passo de uma derivação mais à direita  $uAw \rightarrow uvw$ , a cadeia  $uv$  é um *handle* de  $uvw$
- Queremos reduzir quando o conteúdo da pilha for um handle

# Reconhecendo um handle

---

- Não existe um algoritmo infalível e eficiente para reconhecer um handle no topo da pilha shift-reduce
- Mas existem boas heurísticas, que sempre encontram os handles corretamente para certas classes de gramáticas
  - LR(0), SLR, LALR, LR(1), LR(k), etc...
- A maioria reconhece (ou não) um handle examinando a pilha e o próximo token da entrada (o *lookahead*)

# Prefixos viáveis

---

- Embora não exista um algoritmo exato e eficiente para reconhecer handles, existe um para *prefixos* de handles
- Um prefixo de um handle é um *prefixo viável*
- Enquanto o analisador tem um prefixo viável na pilha, ainda não foi detectado um erro sintático
- O conjunto de prefixos viáveis de uma gramática é uma *linguagem regular!*
- Isso quer dizer que podemos construir um autômato finito para dizer se o que está na pilha é um prefixo viável ou não

# Itens LR(0)

---

- Para construir um autômato que reconhece prefixos viáveis usamos o conceito de *itens LR(0)*
- Um item LR(0) de uma gramática é uma produção da gramática com uma marca no seu lado direito
- Por exemplo, os itens para a produção  $F \rightarrow ( E )$  são:

$F \rightarrow \cdot ( E )$   
 $F \rightarrow ( \cdot E )$   
 $F \rightarrow ( E \cdot )$   
 $F \rightarrow ( E ) \cdot$

BLOCO  $\rightarrow$  .

- Uma produção vazia tem um único item LR(0), e itens com a marca no final são *itens de redução*

# Construindo o autômato não-determinístico

---

- Para construir o autômato, primeiro adicionamos um novo símbolo inicial  $S'$  e uma produção  $S' \rightarrow S$
- O item  $S' \rightarrow \cdot S$  é o *item inicial*, e ele dá o estado inicial do autômato
- Cada um dos itens da gramática é um estado do autômato
- Um item  $A \rightarrow u \cdot x w$ , onde  $x$  é um terminal, tem uma transição  $x$  para o estado  $A \rightarrow u x \cdot w$ , lembre que tanto  $u$  quanto  $w$  podem ser vazios!
- Um item  $A \rightarrow u \cdot X w$ , onde  $X$  é um não-terminal, tem transições  $\varepsilon$  para todos os itens iniciais do não-terminal  $X$ , e uma transição  $X$  para o estado  $A \rightarrow u X \cdot w$
- Todos os estados do autômato são finais!

# Gramática de Expressões

---

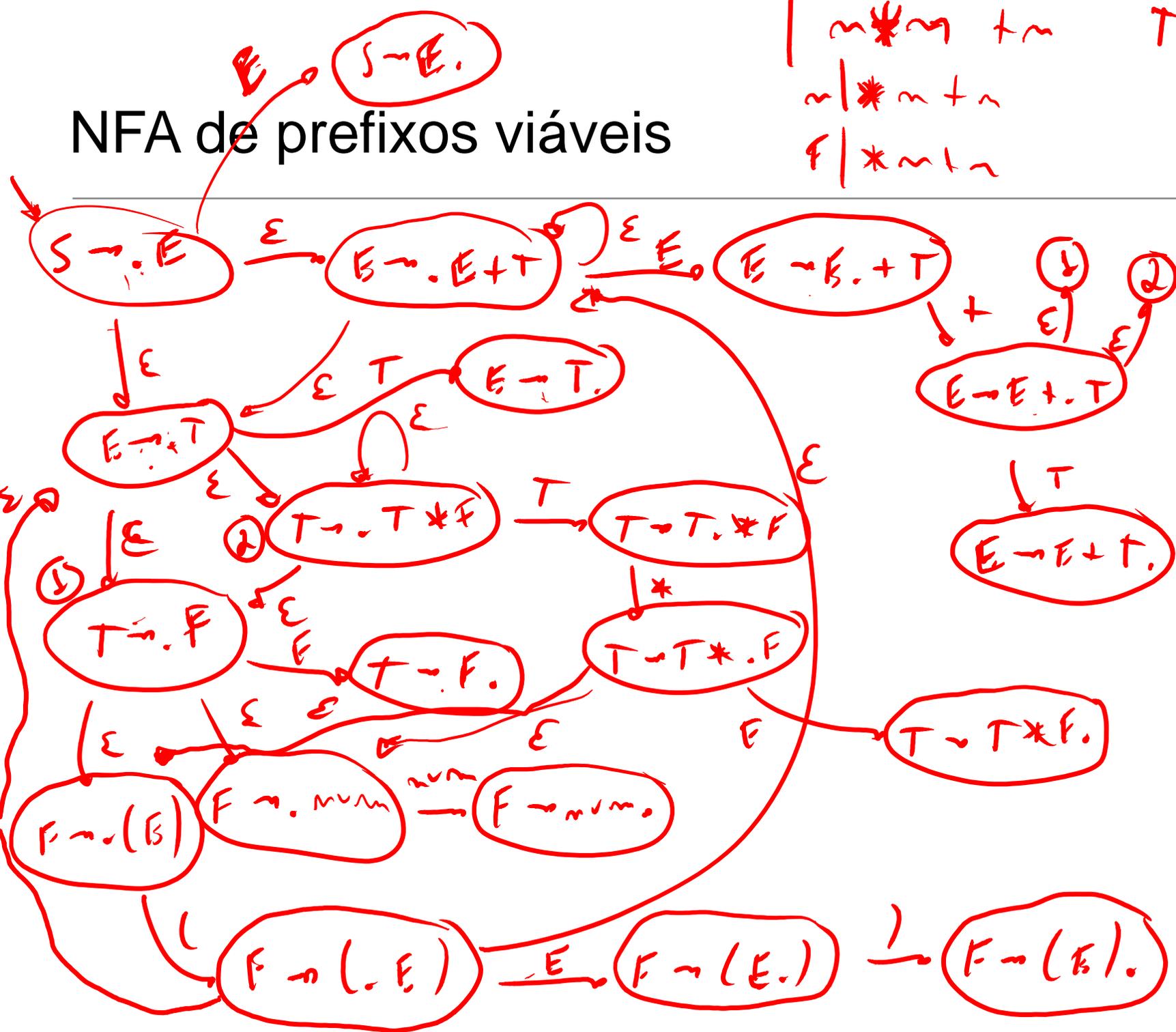
- Vamos usar como exemplo uma gramática de expressões simplificada:

S  $\rightarrow$  E  
E  $\rightarrow$  E + T  
E  $\rightarrow$  T  
T  $\rightarrow$  T \* F  
T  $\rightarrow$  F  
F  $\rightarrow$  num  
F  $\rightarrow$  ( E )

- Vamos construir o NFA de prefixos viáveis dessa gramática

# NFA de prefixos viáveis

$| num + num | * num + num$   
 $| num + num | * num + num$   
 $| * num + num$



- S -> E
- E -> E + T
- E -> T
- T -> T \* F
- T -> F
- F -> num
- F -> ( E )

# De NFA para DFA

---

- Podemos converter o NFA para um DFA usando o algoritmo usual
- Isso nos dá um autômato reconhecedor de prefixos viáveis
- Esse autômato é a base da técnica de análise LR(0):
  - Se o autômato leva a um estado com um único item de redução, reduza por aquela produção
  - Senão faça um *shift* e tente de novo
  - Se o autômato chegou em  $S' \rightarrow S .$  e chegamos no final da entrada a entrada foi aceita

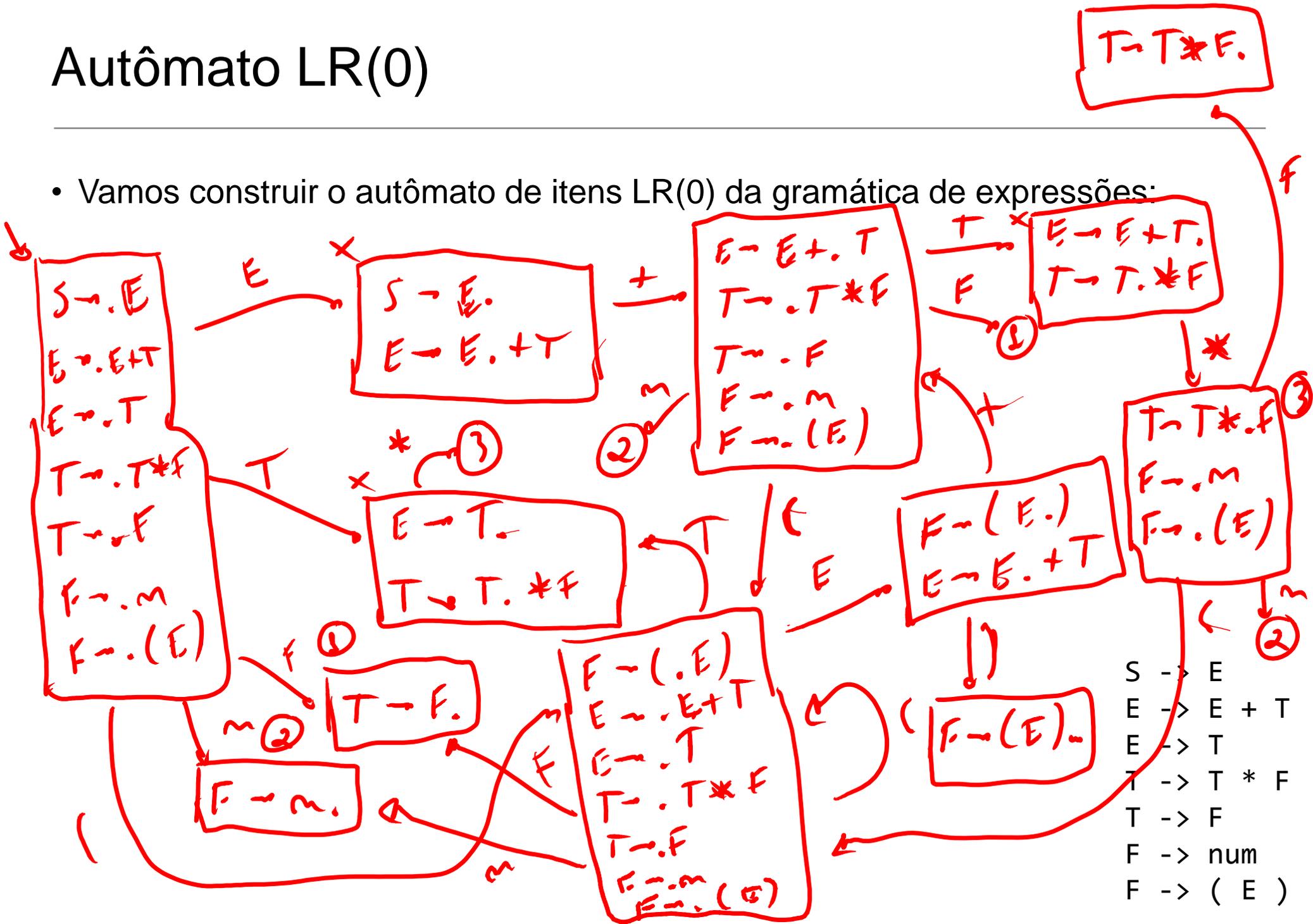
# Construção direta do DFA

---

- Na prática construímos diretamente o DFA de itens LR(0) para prefixos viáveis
- Aplicamos a um estado uma operação de *fecho*, que é equivalente ao fecho- $\epsilon$  do NFA
  - Se o estado tem um item  $A \rightarrow u . X w$ , onde  $X$  é um não-terminal, então inclua todos os itens iniciais de  $X$
  - Faça isso até nenhum outro item ser incluído
- Sobrarão apenas as transições em terminais, com no máximo uma para cada terminal saindo de cada estado

# Autômato LR(0)

- Vamos construir o autômato de itens LR(0) da gramática de expressões:



# Um exemplo que funciona

---

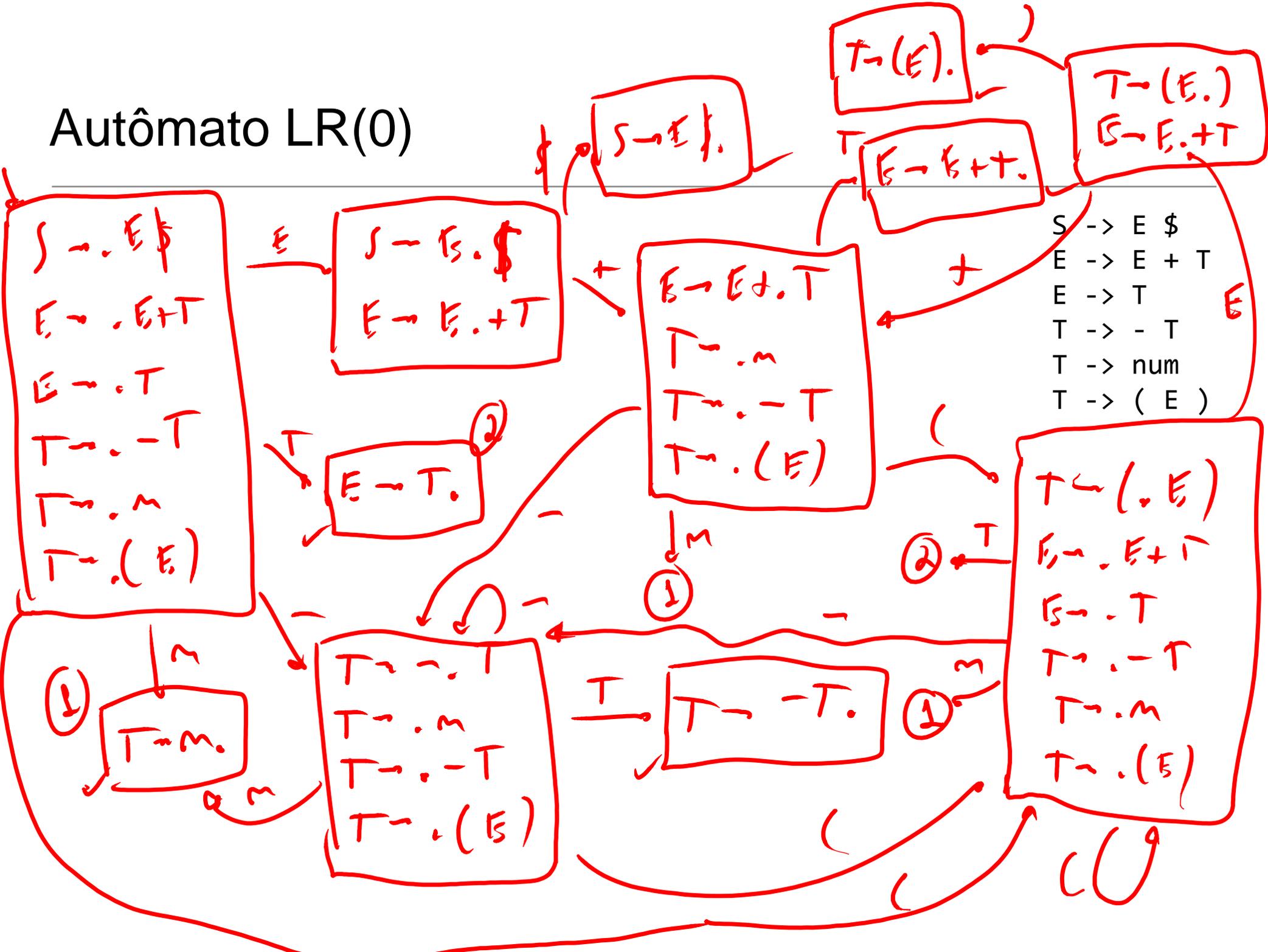
- Todo estado com um item de redução e algum outro item causa conflito LR(0)!
- A técnica LR(0) é bem fraca, mas ainda assim existem gramáticas que ela consegue analisar mas que as técnicas de análise descendente não:

S  $\rightarrow$  E \$  
E  $\rightarrow$  E + T  
E  $\rightarrow$  T  
T  $\rightarrow$  - T  
T  $\rightarrow$  num  
T  $\rightarrow$  ( E )

- Vamos construir o autômato de itens LR(0) dessa gramática e usá-lo para analisar - ( num + num ) + num \$

# Autômato LR(0)

$S \rightarrow E \$$   
 $E \rightarrow E + T$   
 $E \rightarrow T$   
 $T \rightarrow - T$   
 $T \rightarrow \text{num}$   
 $T \rightarrow ( E )$



# Analisando uma entrada

S | - ( m + ~ ) + ~ \$ R4 - ( E + ~ | ) + ~ \$

S - | ( m + ~ ) + ~ \$ R4 - ( E + T | ) + ~ \$

S - ( | m + ~ ) + ~ \$ S - ( E | ) + ~ \$

S E + | m \$

R4 - ( ~ | + ~ ) + ~ \$ R5 - ( E ) | + ~ \$

R4 E + ~ | \$

R2 - ( T | + ~ ) + ~ \$ R3 - T | + ~ \$

R4 E + T | \$

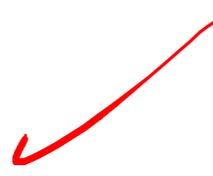
S - ( E | + ~ ) + ~ \$ R2 T | + ~ \$

S E | \$

S - ( E + | ~ ) + ~ \$ S E | + ~ \$

R0 E |

S |



0 S -> E E \$  
 1 E S -> E E + \$ T  
 2 E E -> T E + T  
 3 T E -> T T  
 4 T T -> num T  
 5 T T -> ( num )  
 T T -> ( E )

# Analisando uma entrada

$R4 - (E + m | \#$   $S - (E | \#$   
 $R2 - (E + T | \#$   $- (E | \#$

