Compiladores - Autômatos

Fabio Mascarenhas – 2017.2

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

Especificação x Implementação

- Usamos expressões regulares para dar a *especificação léxica* da linguagem

- Mas como podemos fazer a *implementação* do analisador léxico a partir dessa especificação?

Especificação x Implementação

- Usamos expressões regulares para dar a *especificação léxica* da linguagem

- Mas como podemos fazer a *implementação* do analisador léxico a partir dessa especificação?

  - Autômatos finitos!

  - Algoritmos para converter expressões regulares são conhecidos e podem ser reaproveitados, e autômatos levam a um analisador léxico bastante eficiente

Autômatos Finitos

- Um autômato finito determinístico é formado por:
  - Um *alfabeto* de entrada
  - Um conjunto de *estados*
  - Um *estado inicial*
  - Um conjunto de *estados finais* ***rotulados***
  - Uma função de transição entre estados

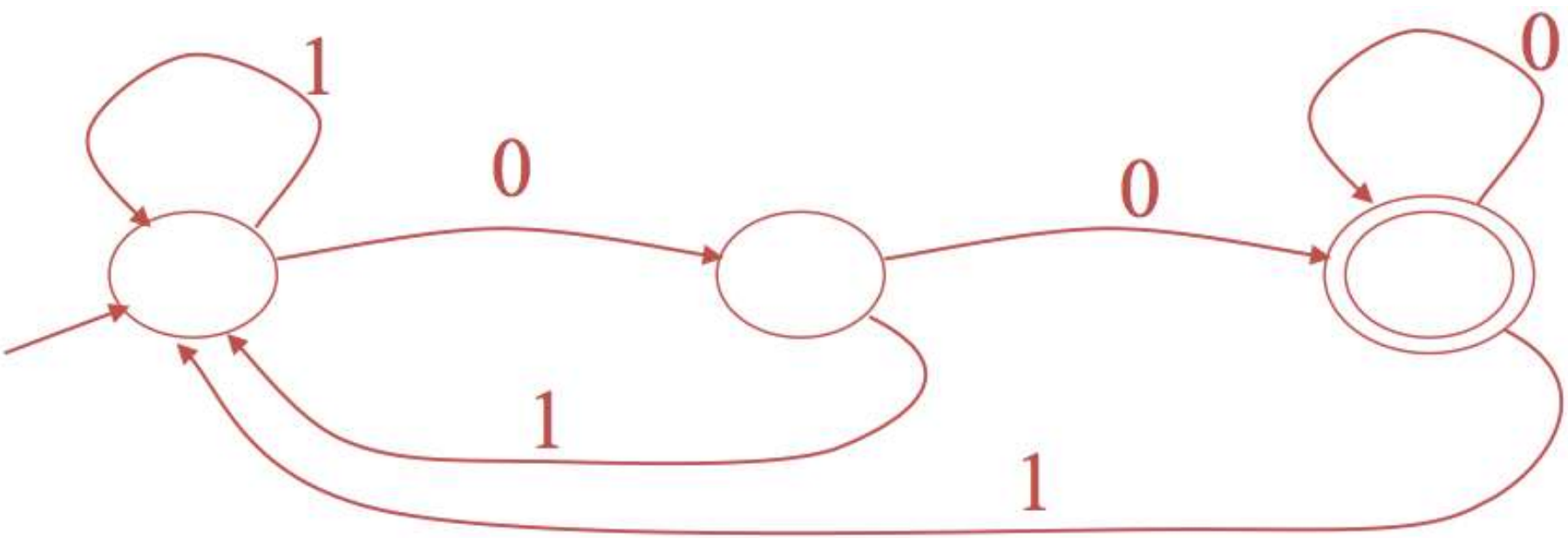
Transições

- Uma transição s_1 -^{a}-> s_2 quer dizer que se autômato está no estado s_1 e o próximo símbolo da entrada é *a* então ele vai para o estado s_2

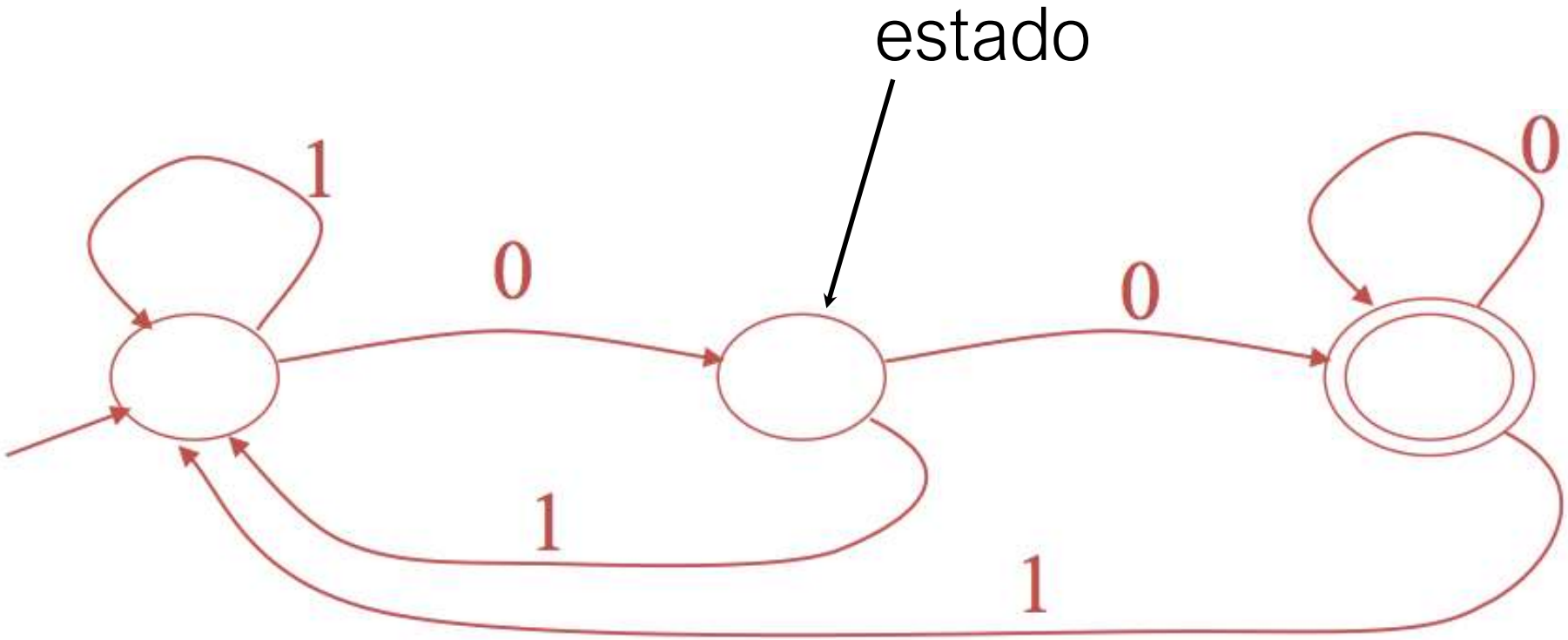
- Se não há mais caracteres na entrada e estamos em um estado final então o autômato *aceitou* a entrada

- Se em algum ponto não foi possível tomar nenhuma transição, ou a entrada acabou e não estamos em um estado final, o autômato *rejeitou* a entrada

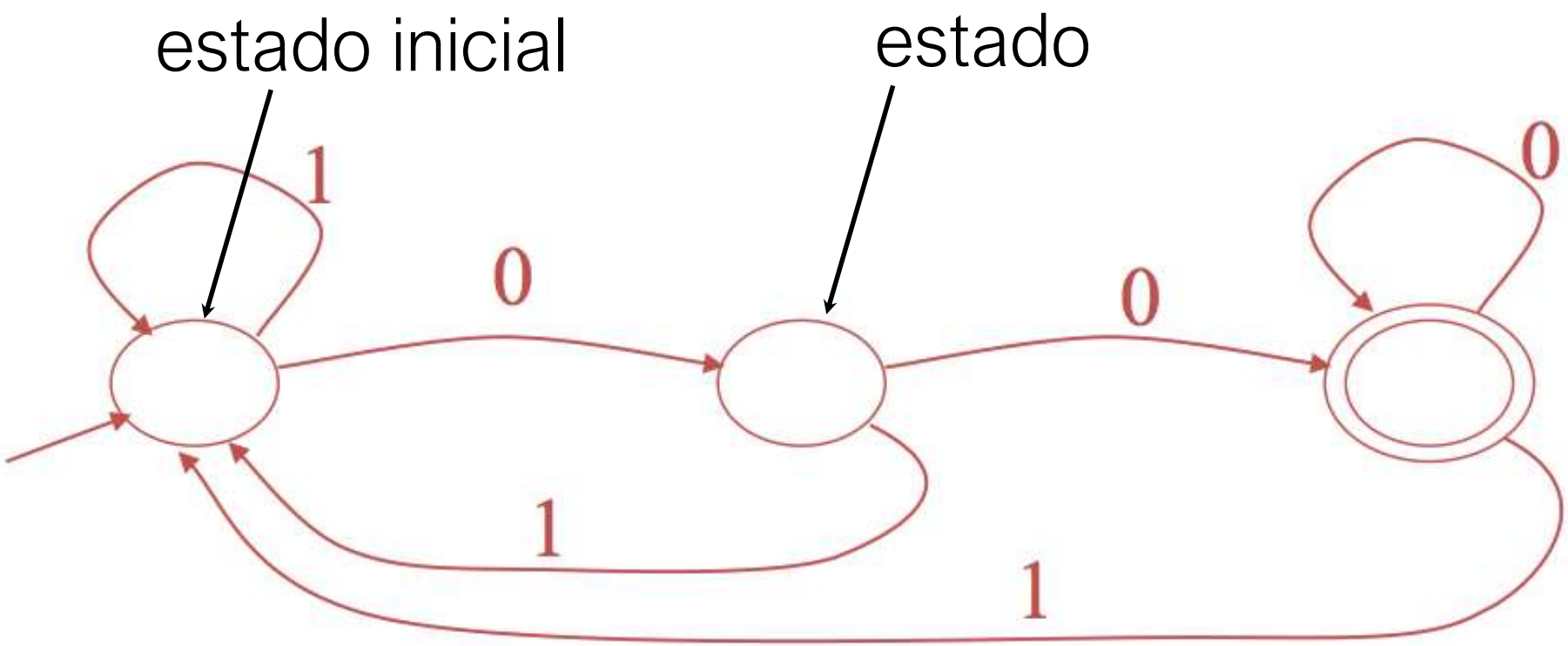
Graficamente



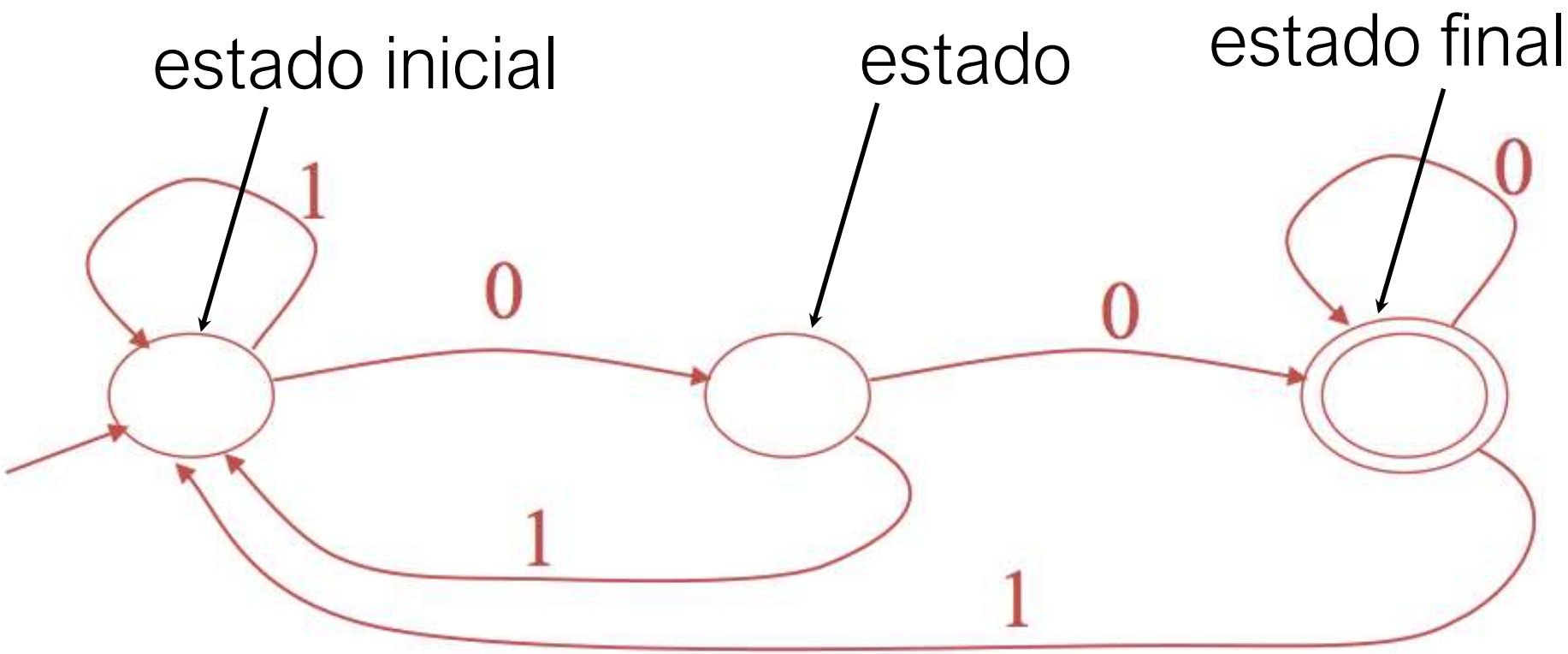
Graficamente



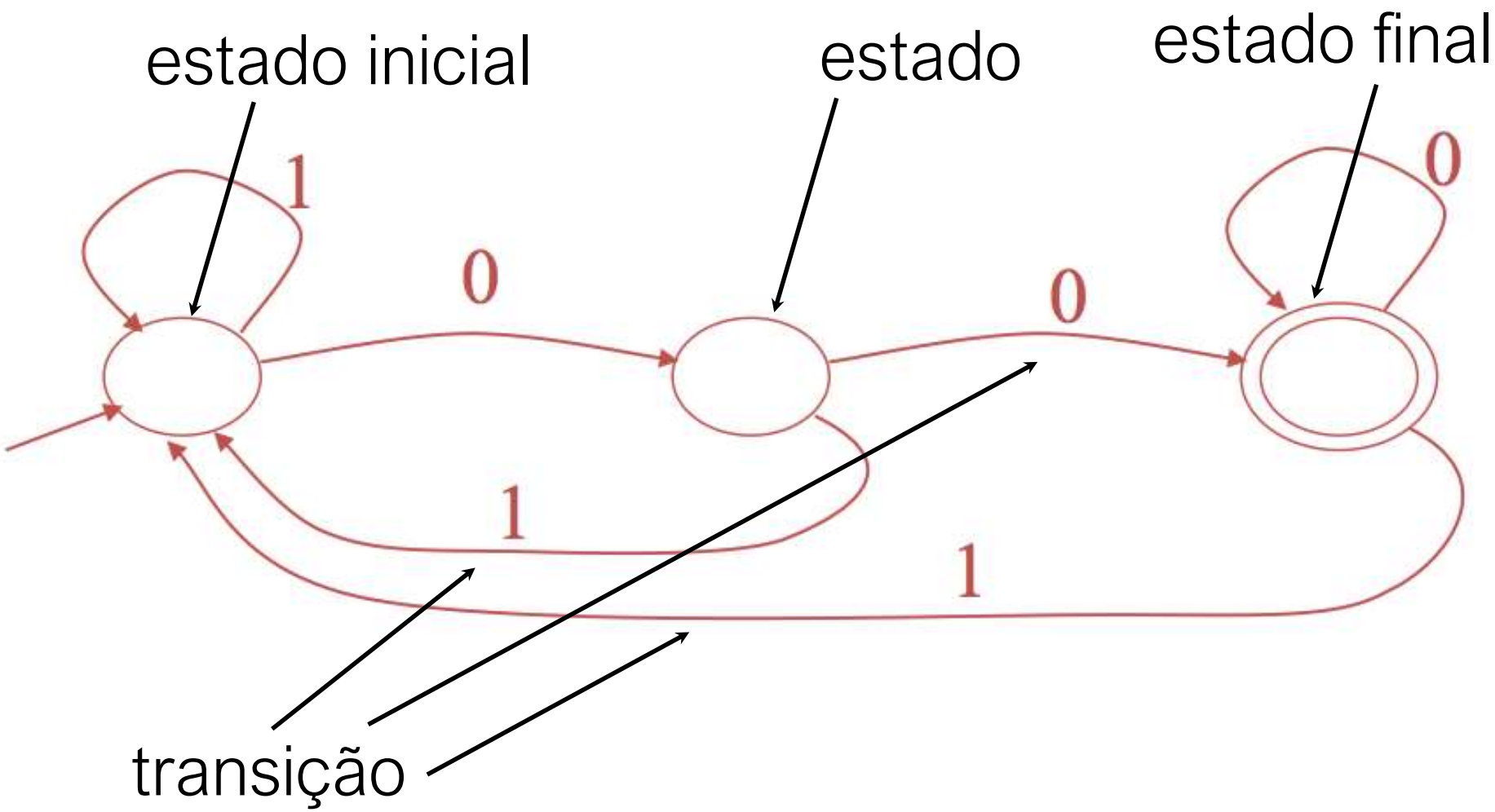
Graficamente



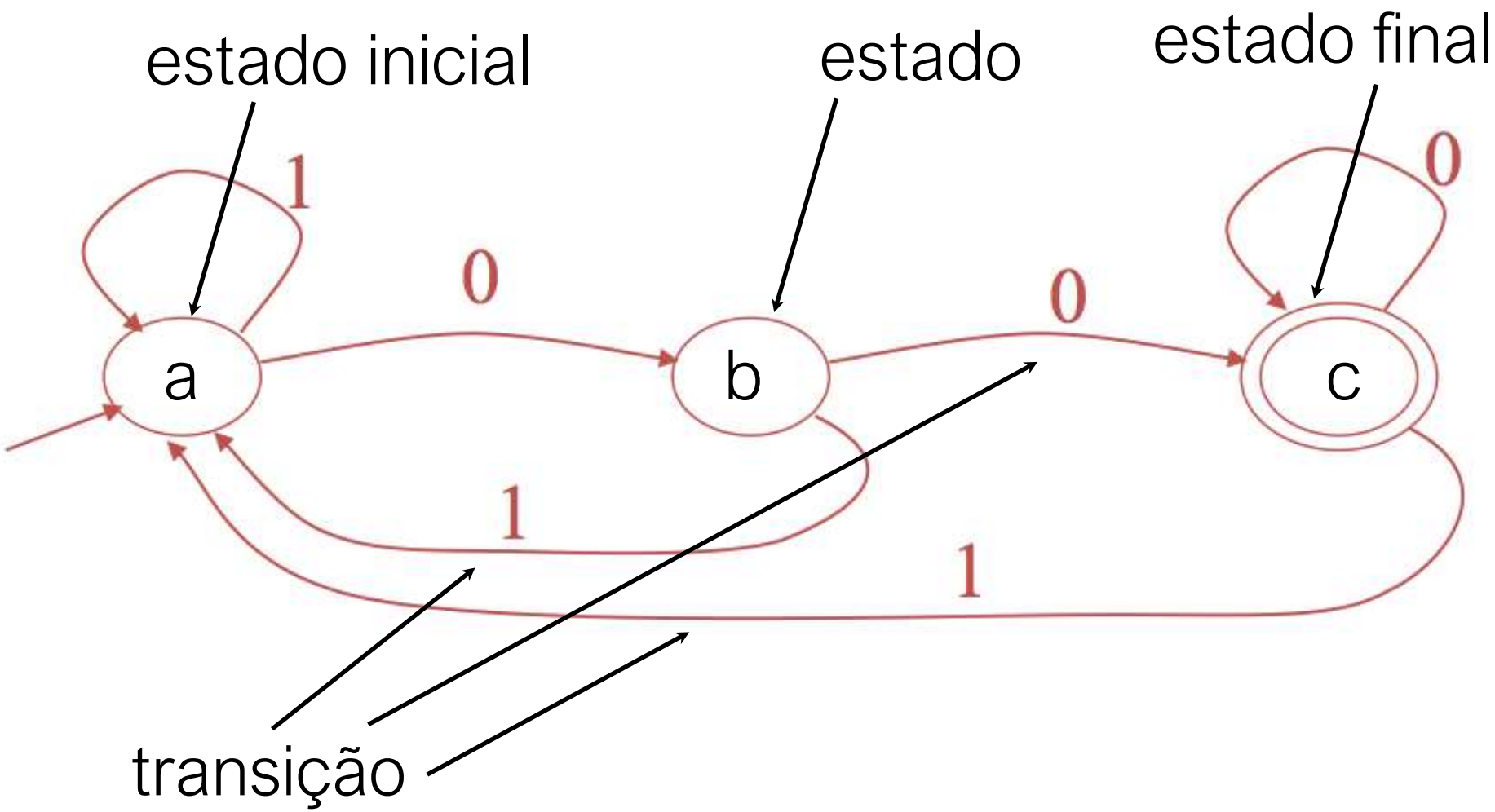
Graficamente



Graficamente

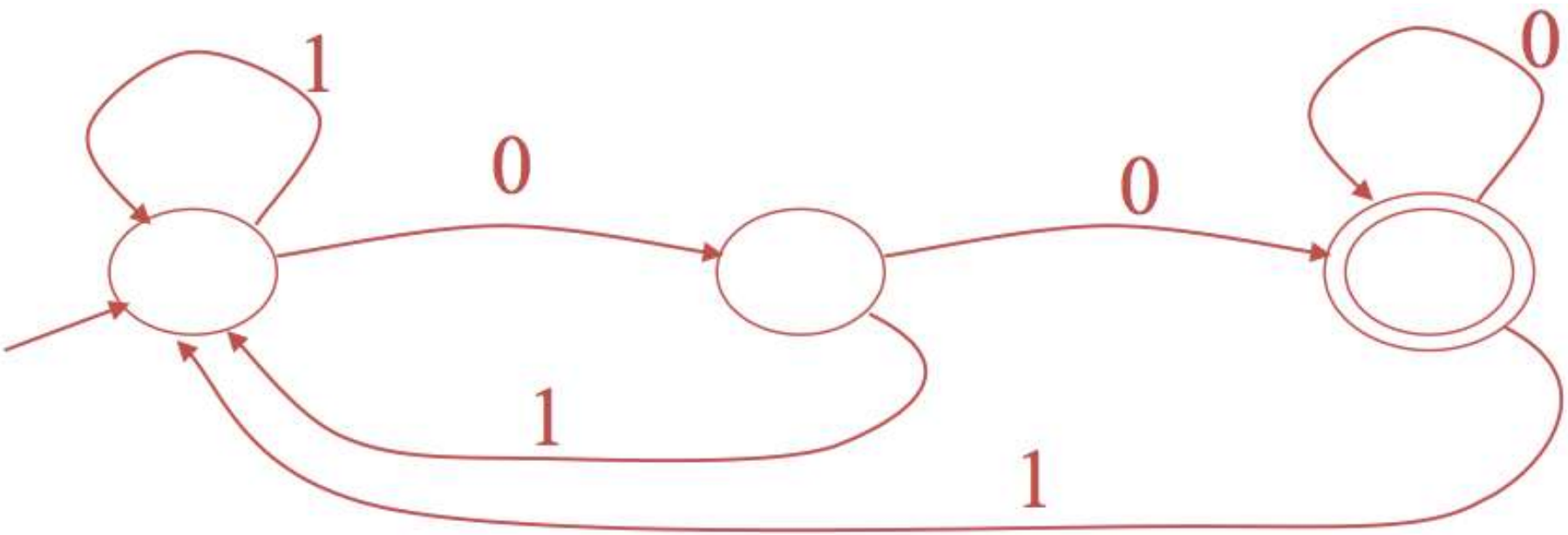


Graficamente



Graficamente

(0|1)*00



Transições ∈

$s_1 \xrightarrow{\varepsilon} s_2$

- Uma transição ∈ é uma transição que pode ser tomada espontaneamente pelo autômato, sem ler nenhum símbolo da entrada

- Podemos também construir um autômato que pode tomar mais de uma transição dado um estado e um símbolo (relação de transição ao invés de função)

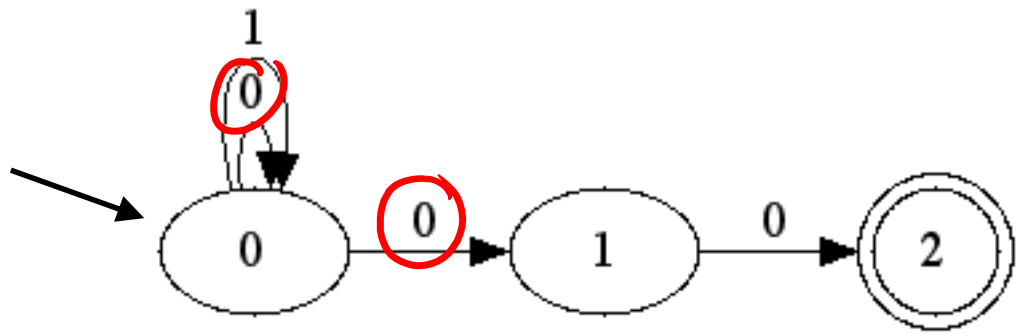
$\delta : S \times (\Sigma \cup \{\varepsilon\}) \times S$

- Autômatos com transições ∈ e múltiplas transições saindo de um mesmo estado para um mesmo caractere são *não-determinísticos*

DFA vs NFA

- Um DFA é um autômato determinístico, um NFA é não-determinístico
- Um DFA, dada uma entrada, toma apenas um caminho através dos seus estados
- Um NFA toma **todos** os caminhos possíveis para aquela entrada, e aceita entrada se **pelo menos um** caminho termina em um estado final

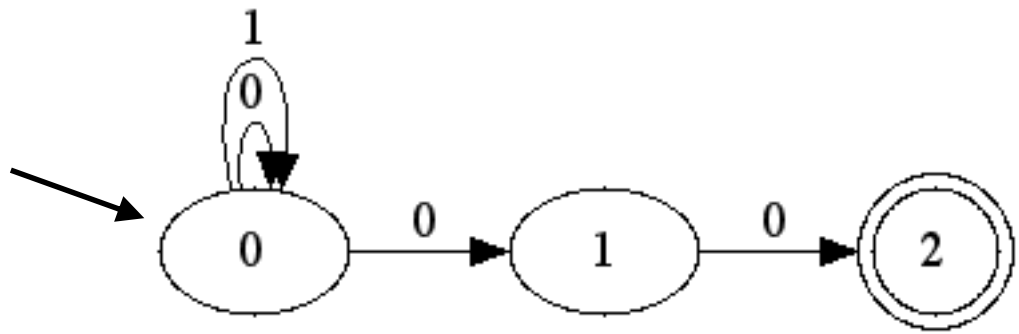
Funcionamento de um NFA



{0}

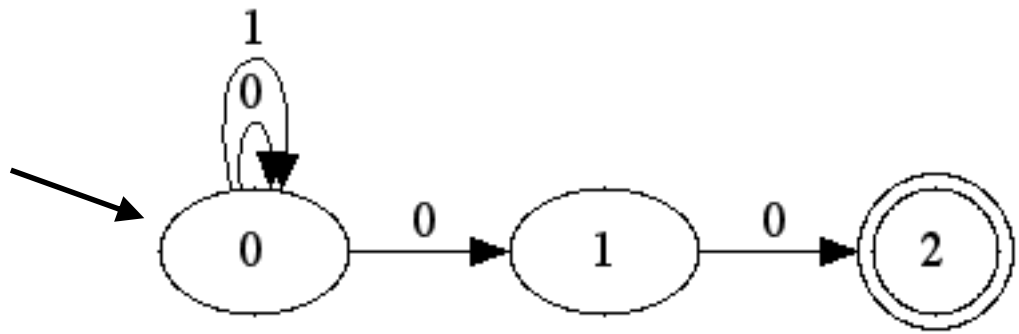
- Entrada:
- Estados:

Funcionamento de um NFA



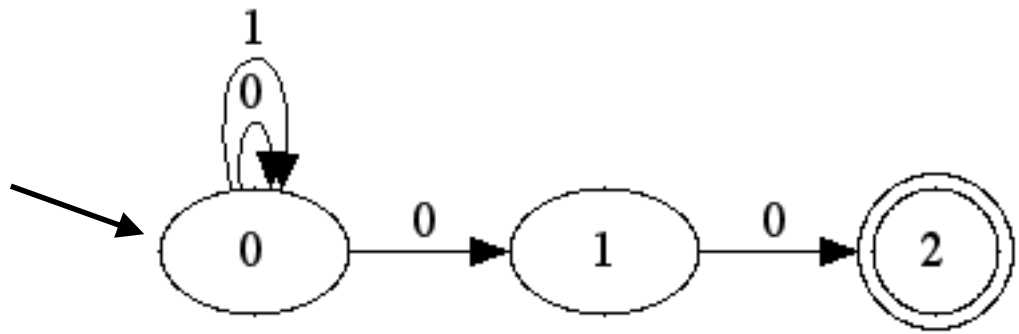
- Entrada: 1
- Estados: { 0 }

Funcionamento de um NFA



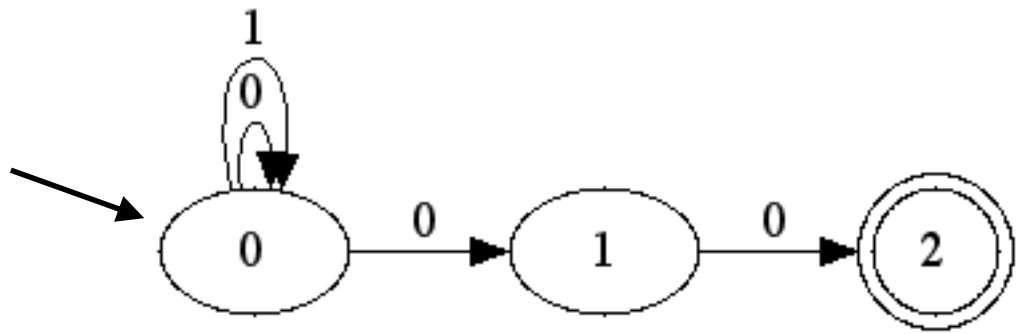
- Entrada: 1 0
- Estados: { 0 } { 0, 1 }

Funcionamento de um NFA



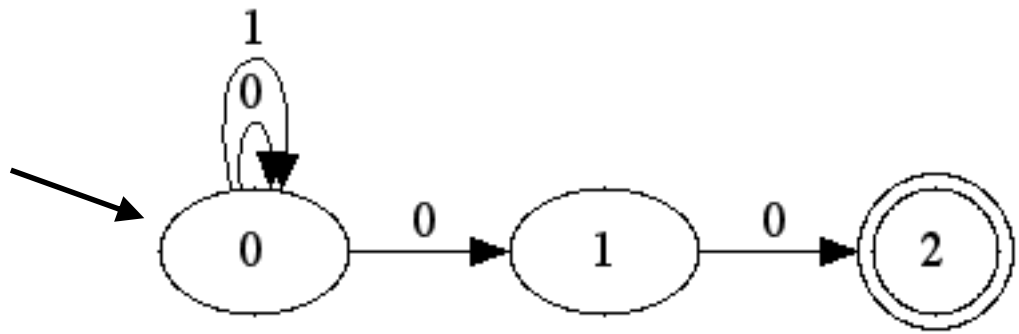
- Entrada: 1 0 0
- Estados: { 0 } { 0, 1 } { 0, 1, 2 }

Funcionamento de um NFA



- Entrada: 1 0 0
- Estados: { 0 } { 0, 1 } { 0, 1, 2 }
- Aceita!

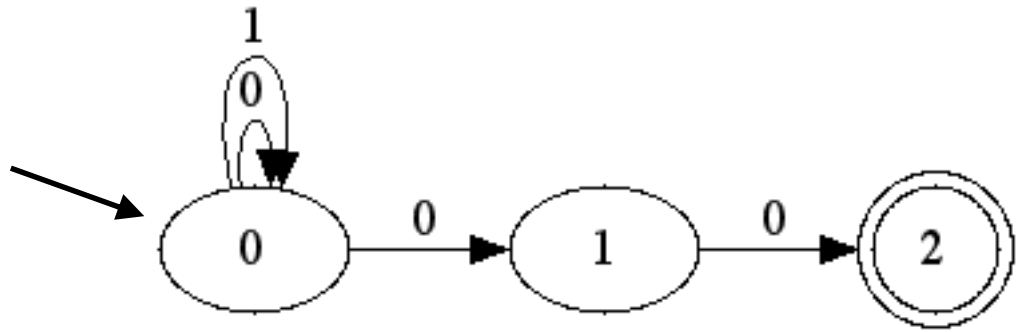
Funcionamento de um NFA



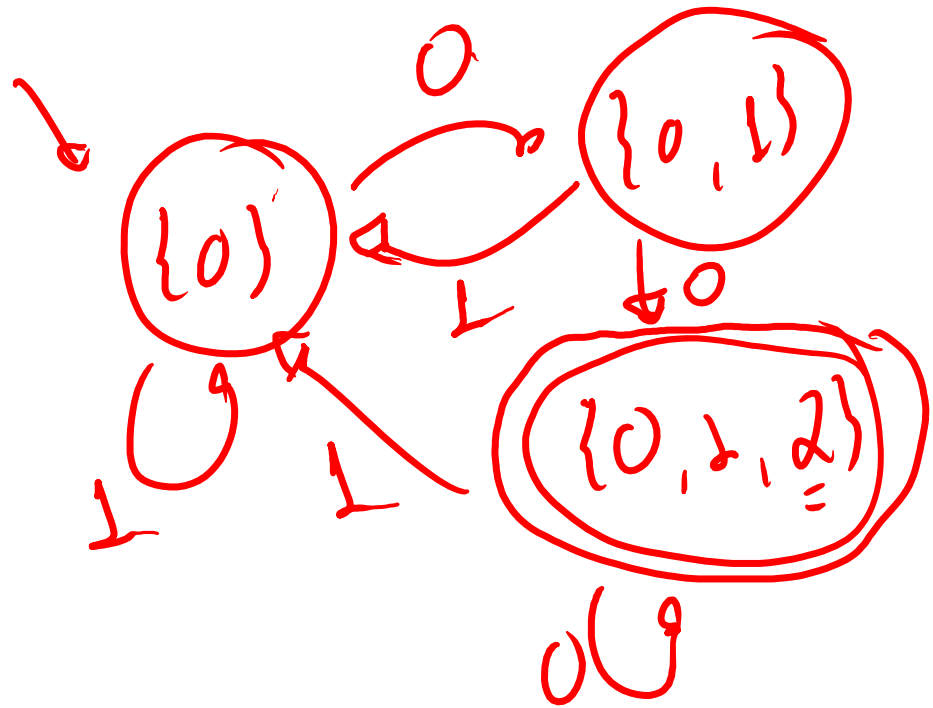
{0}

- Entrada: 0
- Estados: { 0, 1 }

Funcionamento de um NFA



- Entrada: 0 1
- Estados: { 0, 1 } { 0 }
- Não aceita!



Autômatos e linguagens

- DFAs, NFAs e expressões regulares todos expressam a mesma classe de conjunto de símbolos
  - Linguagens regulares
- Isso quer dizer que podemos converter de um para outro
- DFAs são mais rápidos para executar
- NFAs têm representação mais compacta
- Expressões regulares são mais fáceis de entender qual conjunto está sendo expresso

Autômatos e linguagens

- DFAs, NFAs e expressões regulares todos expressam a mesma classe de conjunto de símbolos
  - Linguagens regulares
- Isso quer dizer que podemos converter de um para outro
- DFAs são mais rápidos para executar
- NFAs têm representação mais compacta

Por isso usamos expressões regulares para a especificação, e DFAs (ou NFAs) para implementação!

- Expressões regulares são mais fáceis de entender qual conjunto está sendo expresso

DFA de análise léxica

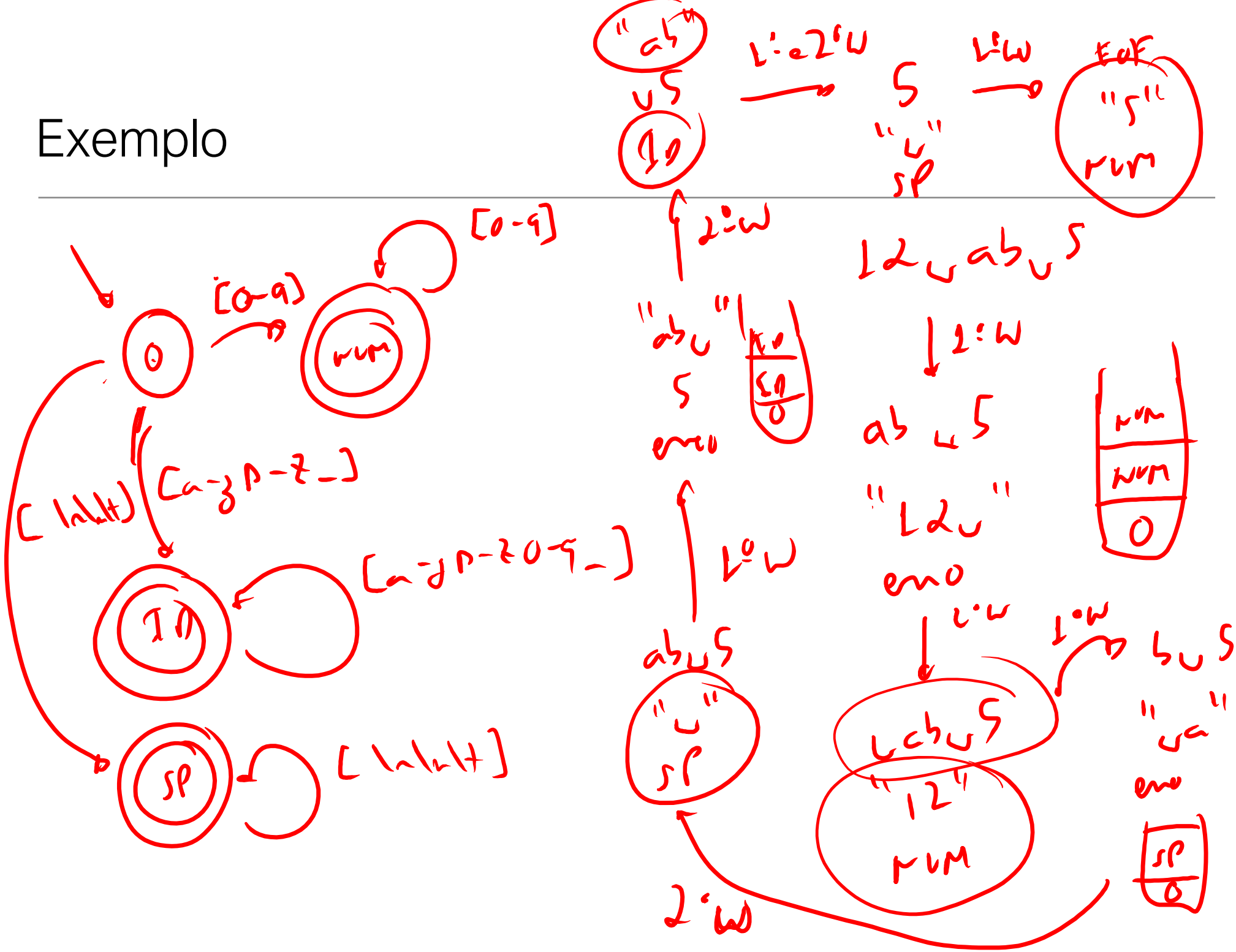
- Um DFA de análise léxica tem os estados finais rotulados com tipos de token
- A ideia é executar o autômato até chegar no final da entrada, ou dar erro por não conseguir fazer uma transição, mantendo uma pilha de estados visitados e o token que está sendo lido
- Então voltamos atrás, botando símbolos de volta na entrada, até chegar em um estado final, que vai dar o tipo do token

Analisador léxico de tabela

```
// reconhecer próximo token
estado = s0
lexema = ""
pilha.limpa()
while (!eof && estado ≠ erro) do
   char = leChar()
   lexema = lexema + char
   push (estado)
   estado = trans(estado,char)
end;
```

```
// limpar estado final
while (estado ∉ SF && !pilha.vazia()) do
   estado ← pilha.pop()
   lexema = lexema.truncaUltimo()
   voltaChar()
end;

if (estado ∈ SF )
   // rótulo do estado é tipo do token
   then return <estado.rotulo, lexema>
   else  return erro
```

Exemplo



Uma otimização

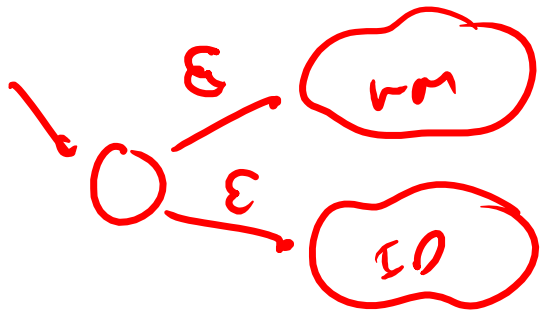
- Se visitamos um estado final então podemos limpar a pilha, já que vamos parar nele na volta

```
// reconhecer palavras
estado = s0
lexema = ""
pilha.limpa()

while (!eof && estado ≠ erro) do
   char = leChar()
   lexema = lexema + char
   if estado ∈ SF
      then pilha.limpa()
   push (estado)
   estado = trans(estado,char)

end;
```

```
// limpar estado final
while (estado ∉ SF and !pilha.vazia()) do
   estado ← pilha.pop()
   lexema = lexema.truncaUltimo()
   voltaChar()
end;

if (estado ∈ SF )
   // rótulo do estado é tipo do token
   then return <estado.rotulo, lexema>
   else  return erro
```

Construindo o DFA de análise léxica

- Passo 1: construir um NFA para cada regra, o estado final desse NFA é rotulado com o tipo do token



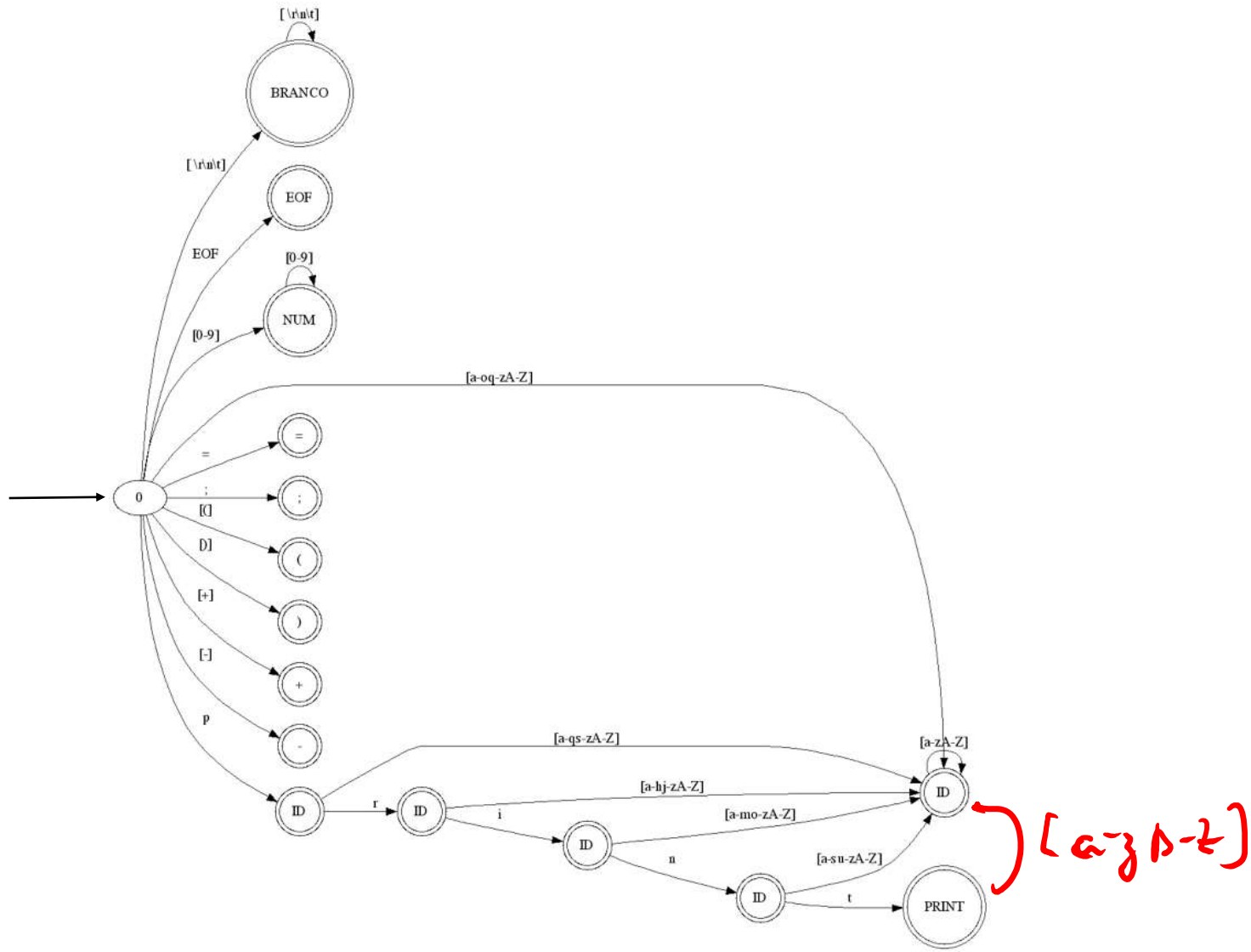
  - Construção de Thompson

- Passo 2: combinar os NFAs em um NFA com um estado inicial que leva aos estados iniciais do NFA de cada regra via uma transição ∈

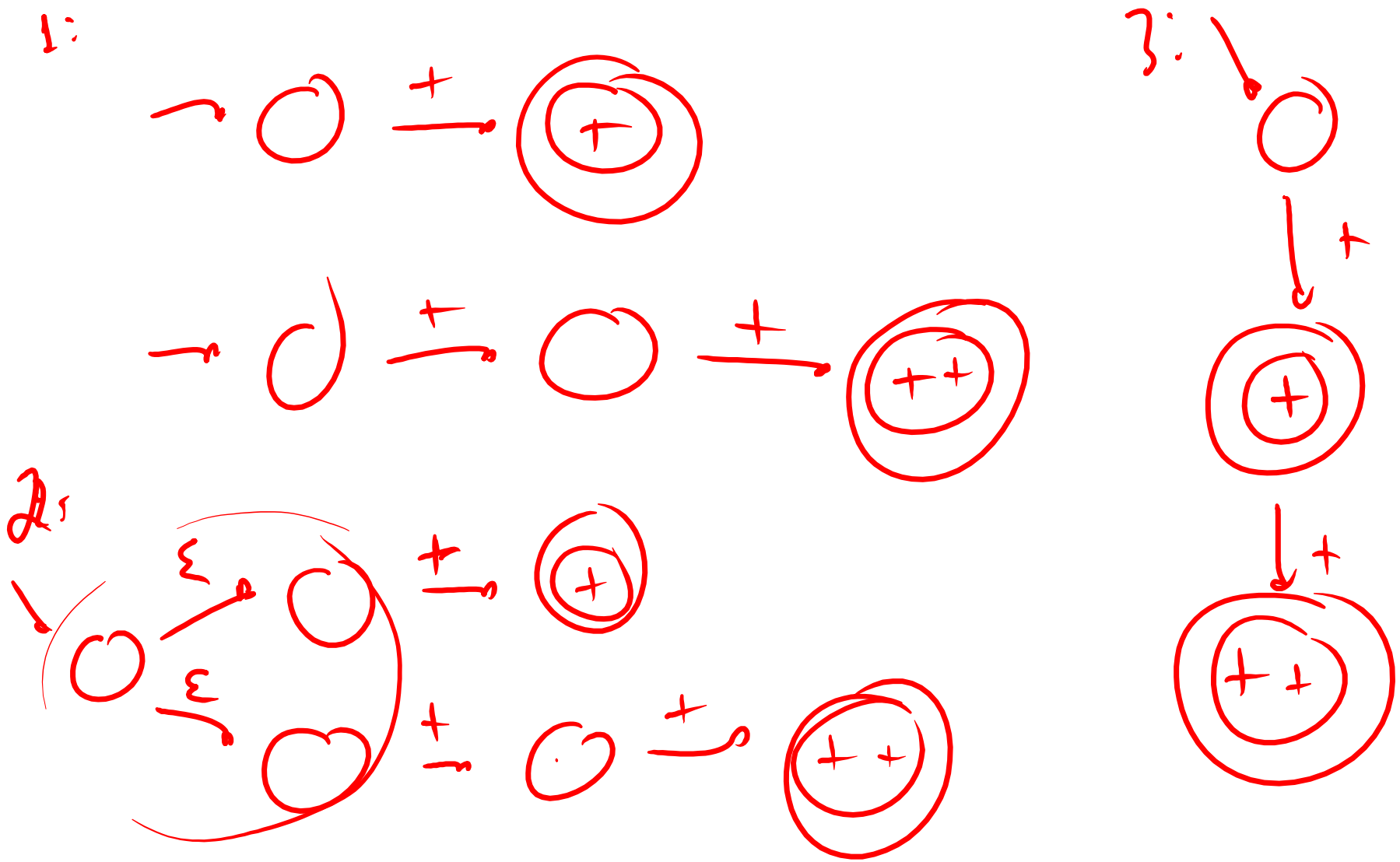
- Passo 3: transformar esse NFA em um DFA, estados finais ficam com o rótulo da regra que aparece primeiro

  - Algoritmo de construção de subconjuntos

DFA da linguagem de comandos simples



[+] vs [++]



Juntando ID e palavras reservadas