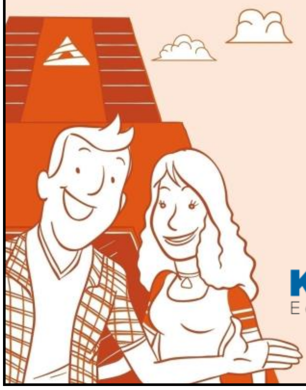


Compiladores

Aula 06
Unidade Jundiaí

Kroton Educacional

Anhanguera
Aqui o seu esforço ganha força.

Plano de Ensino

- Revisão de Conjuntos e Funções
- Linguagens, Expressões Regulares e Gramáticas
- **Autômatos**
- Conceitos básicos sobre compiladores e interpretadores
- Visão geral do processo de compilação
- Tipos de compiladores
- Análise léxica
- Análise sintática
- Análise semântica
- Geração de Código

Livro-Texto

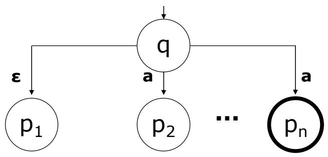
- Bibliografia Básica:
  - » AHO, A.; ULLMANN, J.; REVI, S.. Compiladores : princípios, técnicas e ferramentas. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- Bibliografia Complementar:
  - » TOSCANI, Simão Sirineo; PRICE, Ana M. A.. Implementação de Linguagens de Programação. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Ed., 2008.
  - » DELAMARO, Marcio Eduardo. Como Construir um Compilador : Utilizando Ferramentas Java. 1ª ed.: Novatec, 2004.

6. Autômatos Finitos – AFε

- Definição: um Autômato Finito com Movimentos Vazios (AFε) é uma 5-upla:
  $M = (\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$ onde:
  - » $\Sigma \rightarrow$ alfabeto de símbolos de entrada.
  - » $Q \rightarrow$ conjunto de estados possíveis do autômato o qual é finito.
  - » $\delta \rightarrow$ função programa ou função transição:
    $\delta: Qx(\Sigma \cup \varepsilon) \rightarrow 2^Q$
  - » $q_0 \rightarrow$ estado inicial, tal que $q_0 \in Q$.
  - » $F \rightarrow$ conjunto de estados finais tal que $F \subseteq Q$.

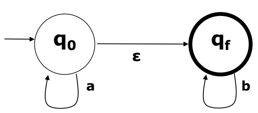
6. Autômatos Finitos – AFε

- Sabendo-se que δ é um grafo finito com movimentos vazios, supondo que: $\delta(q, a) = \{p_2, ..., p_n\}$ e $\delta(q, \varepsilon) = \{p_1\}$



6. Autômatos Finitos – AFε

- Exemplo: considere a linguagem L = {w | qualquer símbolo a antecede qualquer símbolo b} e o AFε $M = (\{a, b\}, \{q_0, q_f\}, \delta, q_0, \{q_f\})$ onde δ é como abaixo representado, reconhece L.



δ	a	b	ε
$\rightarrow q_0$	$\{q_0\}$	–	$\{q_f\}$
$*q_f$	–	$\{q_f\}$	–

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

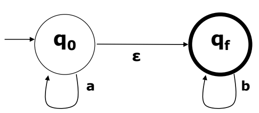
- Função Fecho Vazio (Fε): a função fecho vazio (Fε) é indutivamente definida como segue:
  - » $F\varepsilon(q) = \{q\}$, se $\delta(q, \varepsilon)$ é indefinido;
  - » $F\varepsilon(q) = \{q\} \cup \delta(q, \varepsilon) \cup \delta(\delta(q, \varepsilon), \varepsilon) \cup \ldots$, caso contrário.
- Função Programa Estendida ($\underline{\delta}$): é a solução indutiva definida como segue:
  - » $\underline{\delta}(q, \varepsilon) = F\varepsilon(q)$
  - » $\underline{\delta}(q, wa) = F\varepsilon(R)$ onde $R = \{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q, \varepsilon)\}$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- A classe dos Autômatos Finitos com Movimentos Vazios é equivalente à classe dos Autômatos Finitos Não-Determinísticos.
- Seja $M=(\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$ um AFε qualquer, existe um $M'=(\Sigma, Q, \delta', q_0, F')$ um AFND construído a partir de M como segue:
  - » δ' tal que $\delta': Q \times \Sigma \rightarrow 2^Q$ onde $\delta'(q,a)= \underline{\delta}(\{q\},a)$.
  - » F' é o conjunto de todos os estados q pertencentes a Q tal que algum elemento de $F\varepsilon(q) \in F$.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- **Exemplo 1**: dado um AFε $M=(\{a, b\}, \{q_0, q_f\}, \delta, q_0, \{q_f\})$. Onde δ é dado pelo grafo abaixo:



  - Existe um $M'=(\{a,b\}, \{q_0, q_f\}, \delta', \{q_0\}, F')$ equivalente.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

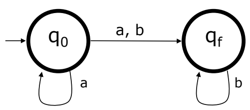
- F' é retirado da função Fecho Vazio (Fε).
  - » $F'=\{q_0, q_f\}$, pois:
    - $F\varepsilon(q_0) = \{q_0\} \cup \delta(q_0,\varepsilon) \cup \delta(\delta(q_0,\varepsilon),\varepsilon)$
      $= \{q_0\} \cup \{q_f\} \cup \varnothing$
      $= \mathbf{\{q_0, q_f\}}$
    - $F\varepsilon(q_f) = \mathbf{\{q_f\}}$
  - » Como todos tem $\{q_f\}$, todos os estados são finais no AFND.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- δ' é retirado da função Programa Estendida ($\underline{\delta}$).
  - » $\delta'(q_0,\varepsilon) = \underline{\delta}(q_0,\varepsilon) \quad = F\varepsilon(q_0) = \{q_0, q_f\}$
  - » $\delta'(q_0,a) = \underline{\delta}(q_0,a) \quad = F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_0,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \{q_0, q_f\}\})$
    $= F\varepsilon(\{\delta(q_0, a) \cup \delta(q_f, a)\})$
    $= F\varepsilon(\{q_0 \cup \varnothing\}) = F\varepsilon(\{q_0\}) = \mathbf{\{q_0, q_f\}}$
  - » $\delta'(q_0,b) = \underline{\delta}(q_0,b) \quad = F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_0,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \{q_0, q_f\}\})$
    $= F\varepsilon(\{q_f\}) = \mathbf{\{q_f\}}$
  - » $\delta'(q_f,\varepsilon) = \underline{\delta}(q_f,\varepsilon) \quad = F\varepsilon(q_f) = \{q_f\}$
  - » $\delta'(q_f,a) = \underline{\delta}(q_f,a) \quad = F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_f,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \{q_f\}\})$
    $= F\varepsilon(\varnothing) = \varnothing$
  - » $\delta'(q_f,b) = \underline{\delta}(q_f,b) \quad = F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_f,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \{q_f\}\})$
    $= F\varepsilon(\{\delta(q_f, b)\}) = F\varepsilon(\{q_f\}) = \mathbf{\{q_f\}}$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

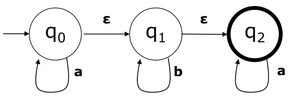
- O AFε $M = (\{a, b\}, \{q_0, q_f\}, \delta, q_0, \{q_f\})$, possui um AFND equivalente $M'=(\{a,b\}, Q, \delta', \{q_0\}, \{q_0,q_f\})$, com δ' mostrado abaixo.



δ'	a	b
→*q_0	$\{q_0,q_f\}$	$\{q_f\}$
*q_f	–	$\{q_f\}$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- **Exemplo 2**: dado um AFε M=({a,b}, $\{q_0,q_1,q_2\}$, δ, $\{q_0\}$, $\{q_2\}$). Onde δ é dado pelo grafo abaixo:



δ	a	b	ε
→ q_0	$\{q_0\}$	–	$\{q_1\}$
q_1	–	$\{q_1\}$	$\{q_2\}$
* q_2	$\{q_2\}$	–	–

  - Existe um M'=({a,b}, $\{q_0,q_1,q_2\}$, δ', $\{q_0\}$, F') equivalente.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- F' é retirado da função Fecho Vazio (Fε).
  - » F'=$\{q_0, q_1, q_2\}$, pois:
    - $F\varepsilon(q_0) = \{q_0\} \cup \delta(q_0,\varepsilon) \cup \delta(\delta(q_0,\varepsilon),\varepsilon) =$
      $= \{q_0\} \cup \{q_1\} \cup \{q_2\}$
      $= \mathbf{\{q_0, q_1, q_2\}}$
    - $F\varepsilon(q_1) = \{q_1\} \cup \delta(q_1,\varepsilon) =$
      $= \{q_1\} \cup \{q_2\}$
      $= \mathbf{\{q_1, q_2\}}$
    - $F\varepsilon(q_2) = \mathbf{\{q_2\}}$
  - » Como todos tem $\{q_2\}$, todos os estados são finais no AFND.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- δ' é retirado da função Programa Estendida ($\underline{\delta}$).
  - » $\delta'(q_0,\varepsilon) = \underline{\delta}(q_0,\varepsilon)$ $= F\varepsilon(q_0) = \{q_0, q_1, q_2\}$
  - » $\delta'(q_0,a) = \underline{\delta}(q_0,a)$ $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_0,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \{q_0, q_1, q_2\}\})$
    $= F\varepsilon(\{\delta(q_0, a) \cup \delta(q_1, a) \cup \delta(q_2, a)\})$
    $= F\varepsilon(\{q_0 \cup \varnothing \cup q_2\})$
    $= F\varepsilon(\{q_0, q_2\})$
    $= F\varepsilon(q_0) \cup F\varepsilon(q_2) = \mathbf{\{q_0, q_1, q_2\}}$
  - » $\delta'(q_0,b) = \underline{\delta}(q_0,b)$ $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_0,\varepsilon)\})$
    $= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \{q_0, q_1, q_2\}\})$
    $= F\varepsilon(\{\delta(q_0, b) \cup \delta(q_1, b) \cup \delta(q_2, b)\})$
    $= F\varepsilon(\{\varnothing \cup q_1 \cup \varnothing\})$
    $= F\varepsilon(\{q_1\}) = \mathbf{\{q_1, q_2\}}$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

» $\delta'(q_1,\varepsilon) = \underline{\delta}(q_1,\varepsilon)$ $= F\varepsilon(q_1) = \{q_1, q_2\}$

» $\delta'(q_1,a) = \underline{\delta}(q_1,a)$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_1,\varepsilon)\})$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \{q_1, q_2\}\})$
$= F\varepsilon(\{\delta(q_1, a) \cup \delta(q_2, a)\})$
$= F\varepsilon(\{\varnothing \cup q_2\})$
$= F\varepsilon(\{q_2\}) = \mathbf{\{q_2\}}$

» $\delta'(q_1,b) = \underline{\delta}(q_1,b)$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_1,\varepsilon)\})$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \{q_1, q_2\}\}) =$
$= F\varepsilon(\{\delta(q_1, b) \cup \delta(q_2, b)\})$
$= F\varepsilon(\{q_1 \cup \varnothing\})$
$= F\varepsilon(\{q_1\}) = \mathbf{\{q_1, q_2\}}$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

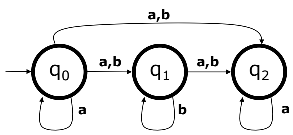
» $\delta'(q_2,\varepsilon) = \underline{\delta}(q_2,\varepsilon)$ $= F\varepsilon(q_2) = \{q_2\}$

» $\delta'(q_2,a) = \underline{\delta}(q_2,a)$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_2,\varepsilon)\})$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, a) \text{ e } s \in \{q_2\}\}) =$
$= F\varepsilon(\{\delta(q_2, a)\})$
$= F\varepsilon(\{q_2\}) = \mathbf{\{q_2\}}$

» $\delta'(q_2,b) = \underline{\delta}(q_2,b)$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \underline{\delta}(q_2,\varepsilon)\}) =$
$= F\varepsilon(\{r \mid r \in \delta(s, b) \text{ e } s \in \{q_2\}\}) =$
$= F\varepsilon(\{\delta(q_2, b)\})$
$= F\varepsilon(\{\varnothing\}) = \varnothing$

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

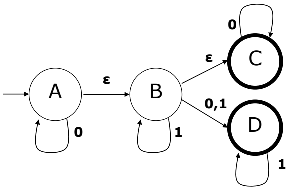
- O AFε $M=(\{a,b\}, \{q_0,q_1,q_2\}, \delta, \{q_0\}, \{q_2\})$, possui um autômato equivalente $M'=(\{a,b\}, \{q_0,q_1,q_2\}, \delta', \{q_0\}, \{q_0,q_1,q_2\})$, com δ' mostrado abaixo.



δ'	a	b
$\rightarrow *q_0$	$\{q_0,q_1,q_2\}$	$\{q_1,q_2\}$
$*q_1$	$\{q_2\}$	$\{q_1,q_2\}$
$*q_2$	$\{q_2\}$	–

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- **Exemplo 3**: dado um AFε M=({0,1}, {A,B,C,D}, δ, {A}, {C,D}). Onde δ é dado pelo grafo abaixo:



δ	0	1	ε
→A	{A}	–	{B}
B	{D}	{B,D}	{C}
*C	{C}	–	–
*D	–	{D}	–

- Existe um M'=({0,1}, {A,B,C,D}, δ', {A}, F') equivalente.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- F' é retirado da função Fecho Vazio (Fε).
  - » F'={A,B,C,D}, pois:
    - Fε(A) = {A} ∪ δ(A,ε) ∪ δ(δ(A,ε),ε) =
      = {A} ∪ {B} ∪ {C}
      = **{A,B,C}**
    - Fε(B) = {B} ∪ δ(B,ε) =
      = {B} ∪ {C}
      = **{B,C}**
    - Fε(C) = **{C}**
    - Fε(D) = **{D}**
  - » Como todos tem {C} ou {D} na composição dos resultados, todos os estados são finais no AFND.

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- δ' é retirado da função Programa Estendida ($\underline{\delta}$).
  - » δ'(A,ε) = $\underline{\delta}$(A,ε) = Fε(A) = {A, B, C}
  - » δ'(A,0) = $\underline{\delta}$(A,0) = Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ $\underline{\delta}$(A,ε)})
    = Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ {A, B, C}})
    = Fε({δ(A, 0) ∪ δ(B, 0) ∪ δ(C, 0)})
    = Fε({A ∪ D ∪ C})
    = Fε({A, C, D})
    = Fε({A}) ∪ Fε({C}) ∪ Fε({D}) = **{A, B, C, D}**
  - » δ'(A,1) = $\underline{\delta}$(A,1) = Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ $\underline{\delta}$(A,ε)})
    = Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ {A, B, C}})
    = Fε({δ(A, 1) ∪ δ(B, 1) ∪ δ(C, 1)})
    = Fε({∅ ∪ {B,D} ∪ ∅})
    = Fε({B, D})
    = Fε({B}) ∪ Fε({D}) = **{B, C, D}**

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

» δ'(B,ε) = δ(B,ε) = Fε(B) = {B, C}

» δ'(B,0) = δ(B,0) = Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ δ(B,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ {B, C}})
= Fε({δ(B, 0) ∪ δ(C, 0)})
= Fε({D ∪ C})
= Fε({C, D})
= Fε(Fε({C}) ∪ Fε({D}) = **{C, D}**

» δ'(B,1) = δ(B,1) = Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ δ(B,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ {B, C}})
= Fε({δ(B, 1) ∪ δ(C, 1)})
= Fε({{B,D} ∪ ∅})
= Fε({B, D})
= Fε({B}) ∪ Fε({D}) = **{B, C, D}**

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

» δ'(C,ε) = δ(C,ε) = Fε(C) = {C}

» δ'(C,0) = δ(C,0) = Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ δ(C,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ {C}})
= Fε({δ(C, 0)})
= Fε({C}) = **{C}**

» δ'(C,1) = δ(C,1) = Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ δ(C,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ {C}})
= Fε({δ(C, 1)})
= Fε({∅}) = ∅

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

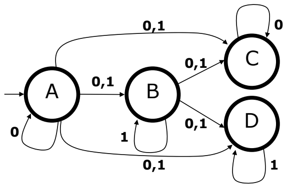
» δ'(D,ε) = δ(D,ε) = Fε(D) = {D}

» δ'(D,0) = δ(D,0) = Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ δ(D,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 0) e s ∈ {D}})
= Fε({δ(D, 0)})
= Fε({∅}) = ∅

» δ'(D,1) = δ(D,1) = Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ δ(D,ε)})
= Fε({r | r ∈ δ(s, 1) e s ∈ {D}})
= Fε({δ(D, 1)})
= Fε({D}) = **{D}**

6. Autômatos Finitos – Conversão AFε → AFND

- O AFε M=({0,1}, {A,B,C,D}, δ, {A}, {C,D}), possui um autômato equivalente M'=({0,1}, {A,B,C,D}, δ', {A}, {A,B,C,D}), com δ' mostrado abaixo.



δ'	0	1
→*A	{A,B,C,D}	{B,C,D}
*B	{C,D}	{B,C,D}
*C	{C}	–
*D	–	{D}

Kroton Educacional

Anhanguera
Aqui o seu esforço ganha força.

Compiladores

clayton.valdo@anhanguera.com