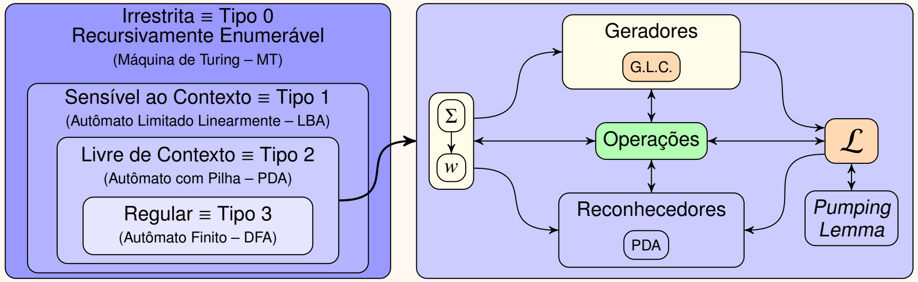
Linguagens Formais e Autômatos

Humberto Longo

Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás

Bacharelado em Ciência da Computação, 2021/1

Roteiro



Formas normais para GLC's

- Uma gramática é dita normalizada quando todas as suas regras de derivação seguem as restrições impostas por um certo padrão (formas normais).
- Forma Normal: restrições rígidas no formato das regras de derivação, sem reduzir o poder de geração da gramática.
- Aplicações:
  - Obtenção de gramáticas adequadas para análise sintática.
  - Obtenção de autômato de pilha para LLC.
- Formas Normais:
  1. Forma Normal de Chomsky.
  2. Forma Normal de Greibach.

Forma normal de Chomsky

Definição 1.87

- Uma GLC $G = (V, \Sigma, P, S)$ está na **forma normal de Chomsky** se suas regras de derivação tem uma das seguintes formas:
  1. $S \rightarrow \varepsilon$,
  2. $A \rightarrow a$,
  3. $A \rightarrow BC$,

  onde $B, C \in V - \{S\}$ e $a \in \Sigma$.

Forma normal de Chomsky

Teorema 1.88

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma gramática livre de contexto, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V', \Sigma, P', S')$, equivalente a G, na* **forma normal de Chomsky**.

Demonstração.

- Assuma que:
  1. O símbolo inicial S de G não é recursivo,
  2. G não contém outras ε-regras além da regra $S \to \varepsilon$,
  3. G não contém derivações simples,
  4. G não contém símbolos inúteis.

□

Forma normal de Chomsky

Teorema 1.88

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma gramática livre de contexto, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V', \Sigma, P', S')$, equivalente a G, na* **forma normal de Chomsky**.

Demonstração.

- Portanto, as regras de derivação em P são das formas:
  1. $S \to \varepsilon$,
  2. $A \to a$,
  3. $A \to w$, onde $w \in ((V \cup \Sigma) - \{S\})^+$ e $|w| > 1$.
  - As regras 1 e 2 já estão na forma normal de Chomsky e são inseridas em P'.
- Considere que $w = w_1 A_1 w_2 A_2 \ldots w_k A_k w_{k+1}$.

□

Forma normal de Chomsky

Teorema 1.88

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma gramática livre de contexto, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V', \Sigma, P', S')$, equivalente a G, na* **forma normal de Chomsky**.

Demonstração.

- A regra $A \to w$ pode ser substituída pelas regras:

$$\begin{aligned} A &\to B_1 A_1 B_2 A_2 \ldots B_k A_k B_{k+1}, \\ B_1 &\to w_1, \\ B_2 &\to w_2, \\ &\vdots \\ B_{k+1} &\to w_{k+1}. \end{aligned}$$

□

Forma normal de Chomsky

Teorema 1.88

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma gramática livre de contexto, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V', \Sigma, P', S')$, equivalente a G, na* **forma normal de Chomsky**.

Demonstração.

- A regra $A \to B_1 A_1 B_2 A_2 \ldots B_k A_k B_{k+1}$ pode agora ser substituída pelas regras:

$$\begin{aligned} A &\to B_1 T_1, & \\ T_{2i-1} &\to A_i T_{2i}, & i = 1, \ldots, k-1, \\ T_{2i-2} &\to B_i T_{2i-1}, & i = 2, \ldots, k, \\ T_{2k-1} &\to A_k B_{k+1}. & \end{aligned}$$

□

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

- Transformar a gramática abaixo para a forma normal de Chomsky:

$$G : \left\{ \begin{array}{l} S \to ASA \mid aB, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \mid \varepsilon \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

1. Adicionar uma nova variável inicial:

$$\left\{ \begin{array}{l} S \to ASA \mid aB, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \mid \varepsilon \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_0 \to S, \\ S \to ASA \mid aB, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \mid \varepsilon \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

2. Eliminar regras $B \to \varepsilon$ e $A \to \varepsilon$:

$$\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_0 \to S, \\ S \to ASA \mid aB \mid a, \\ A \to B \mid S \mid \varepsilon, \\ B \to b \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_0 \to S, \\ S \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS \mid S, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

3. Eliminar regras $S \to S$ e $S_0 \to S$:

$$\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_0 \to S, \\ S \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_0 \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ S \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A \to B \mid S, \\ B \to b \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

4. Eliminar regras $A \to B$ e $A \to S$:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{\begin{array}{l} S_0 \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ S \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A \to S \mid b, \\ B \to b \end{array}\right\} \quad \Rightarrow \quad \left\{\begin{array}{l} S_0 \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ S \to ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A \to b \mid ASA \mid aB \mid a \mid SA \mid AS, \\ B \to b \end{array}\right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.89

5. Converter as demais regras:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{\begin{array}{l} S_0 \to AA_1 \mid UB \mid a \mid SA \mid AS, \\ S \to AA_1 \mid UB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A \to b \mid AA_1 \mid UB \mid a \mid SA \mid AS, \\ A_1 \to SA, \\ U \to a, \\ B \to b \end{array}\right\}.$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.90

1. Transformar:

$$\left\{\begin{array}{l} S \to aABC \mid a, \\ A \to aAB \mid a, \\ B \to bcB \mid bc, \\ C \to cC \mid c \end{array}\right\}$$

2. Resultado:

$$\left\{\begin{array}{l} S \to A'T_1 \mid a, \\ A \to A'T_3 \mid a, \\ B \to B'T_4 \mid B'C', \\ C \to C'C \mid c, \\ T_1 \to AT_2, \\ T_2 \to BC, \\ T_3 \to AB, \\ T_4 \to C'B, \\ A' \to a, \\ B' \to b, \\ C' \to c \end{array}\right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.90

1. Transformar:

$$\left\{\begin{array}{l} S \to aABC \mid a, \\ A \to aAB \mid a, \\ B \to bcB \mid bc, \\ C \to cC \mid c \end{array}\right\}$$

2. Resultado:

$$\left\{\begin{array}{l} S \to A'T_1 \mid a, \\ A \to A'T_3 \mid a, \\ B \to B'T_4 \mid B'C', \\ C \to C'C \mid c, \\ T_1 \to AT_2, \\ T_2 \to BC, \\ T_3 \to AB, \\ T_4 \to C'B, \\ A' \to a, \\ B' \to b, \\ C' \to c \end{array}\right\}$$

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.91

1. Transformar:

$$\left\{\begin{array}{l} S \to A, \\ A \to A + T \mid T, \\ T \to b \mid (A) \end{array}\right\}$$

2. Remoção de derivações simples.

$$\Rightarrow \left\{\begin{array}{l} S \to A + T \mid b \mid (A), \\ A \to A + T \mid b \mid (A), \\ T \to b \mid (A) \end{array}\right\}$$

▸ Formas normais para GLC's

Forma normal de Chomsky

Exemplo 1.91

3. Lado direito de cada regra com comprimento máximo dois.

$$\cdots \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} S \to AY \mid b \mid LZ, \\ Z \to AR, \\ A \to AY \mid b \mid LZ, \\ T \to b \mid LZ, \\ Y \to PT, \\ P \to +, \\ L \to (, \\ R \to) \end{array}\right\}. \quad \left\{\begin{array}{l} Y \text{ representa } +T \\ Z \text{ representa } A) \\ L \text{ representa } (\\ R \text{ representa }) \\ P \text{ representa } + \end{array}\right.$$

▸ Formas normais para GLC's

Forma normal de Greibach

Definição 1.92

- Uma GLC $G = (V, \Sigma, P, S)$ está na **forma normal de Greibach** se todas as regras de derivação estão em um dos seguintes formatos:
  1. $S \to \varepsilon$,
  2. $A \to a$,
  3. $A \to aB_1B_2 \ldots B_n$,

  onde $a \in \Sigma$, $A \in V$ e $B_i \in V$ para $i = 1, 2, \ldots, n$.

Forma normal de Greibach

Lema 1.93

- *Seja $G = (V, \Sigma, P, S)$ uma GLC, $A \to uBv$ uma regra de P e $B \to w_1 \mid w_2 \mid \cdots \mid w_n$ as regras de derivação de B. A gramática $G' = (V, \Sigma, P', S)$ é equivalente a G, onde:*

$$P' = (P - \{A \to uBv\} \cup \{A \to uw_1v \mid uw_2v \mid \cdots \mid uw_nv\}).$$

Demonstração.

1. $\mathcal{L}(G') \subseteq \mathcal{L}(G)$
   - Como cada $A \to uw_iv$ é derivável em G, a inclusão é garantida pelo Lema 1.46.

□

Forma normal de Greibach

Lema 1.93

- *Seja $G = (V, \Sigma, P, S)$ uma GLC, $A \to uBv$ uma regra de P e $B \to w_1 \mid w_2 \mid \cdots \mid w_n$ as regras de derivação de B. A gramática $G' = (V, \Sigma, P', S)$ é equivalente a G, onde:*

$$P' = (P - \{A \to uBv\} \cup \{A \to uw_1v \mid uw_2v \mid \cdots \mid uw_nv\}).$$

Demonstração.

2. $\mathcal{L}(G) \subseteq \mathcal{L}(G')$
   - Toda cadeia de terminais derivável em G, usando a regra $A \to uBv$, também é derivável em G'.

$G: \; S \overset{*}{\Longrightarrow} pAq \Longrightarrow puBvq \Longrightarrow puw_ivq \overset{*}{\Longrightarrow} w,$

$G': \; S \overset{*}{\Longrightarrow} pAq \Longrightarrow puw_ivq \overset{*}{\Longrightarrow} w$, usando a regra $A \to uw_iv$.

□

Forma normal de Greibach

- Conversão da forma formal de Chomsky para a forma normal de Greibach:
  1. Transformar regras de derivação segundo o Lema 1.93,
  2. Eliminar recursão direta à esquerda.
  3. Atribuição de número de ordem às variáveis da gramática:
     - Variável inicial é a número 1.
     - Demais variáveis numeradas em qualquer ordem.

1. Com o Lema 1.93 as regras de derivação são da forma:
   1.1 $S \to \varepsilon,$
   1.2 $A \to aw,$
   1.3 $A \to Bw,$

   onde $w \in V^*$ e ordem de B é maior que a ordem de A.

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- $$G: \left\{\begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to AB \mid CB \mid a, \\ B \to AB \mid b, \\ C \to AC \mid c \end{array}\right\}$$
- $\mathcal{L}(G) = ???$
-

Variável	Ordem
S	1
A	2
B	3
C	4

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Eliminar recursão direta à esquerda na regra $A \to AB$:

$$\cdots \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to CBR_1 \mid aR_1 \mid CB \mid a, \\ B \to AB \mid b, \\ C \to AC \mid c, \\ R_1 \to BR_1 \mid B \end{array}\right\}$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Ordem de A é menor do que ordem de B!
- Na regra de $B \to AB$, substituir A por suas regras:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to CBR_1 \mid aR_1 \mid CB \mid a, \\ B \to CBR_1B \mid aR_1B \mid CBB \mid aB \mid b, \\ C \to AC \mid c, \\ R_1 \to BR_1 \mid B \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Ordem de A é menor do que ordem de C!
- Na regra de $C \to AB$, substituir A por suas regras:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to CBR_1 \mid aR_1 \mid CB \mid a, \\ B \to CBR_1B \mid aR_1B \mid CBB \mid aB \mid b, \\ C \to CBR_1C \mid aR_1C \mid CBC \mid aC \mid c, \\ R_1 \to BR_1 \mid B \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Eliminar recursão direta à esquerda nas regras $C \to CBR_1C$ e $C \to CBC$:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to CBR_1 \mid aR_1 \mid CB \mid a, \\ B \to CBR_1B \mid aR_1B \mid CBB \mid aB \mid b, \\ C \to aR_1C \mid aC \mid c \mid aR_1CR_2 \mid aCR_2 \mid cR_2, \\ R_1 \to BR_1 \mid B, \\ R_2 \to BR_1CR_2 \mid BCR_2 \mid BR_1C \mid BC \end{array} \right\}$$

- Lado direito de todas as regras de derivação de C (variável de maior ordem) agora começam com um símbolo terminal!

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Nas regras de derivação de B, substituir C's iniciais por suas regras insere um terminal no lado direito das regras de B:

$$\cdots \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} S \to AB \mid \varepsilon, \\ A \to CBR_1 \mid aR_1 \mid CB \mid a, \\ B \to aR_1B \mid aB \mid b \mid \\ \qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\ \qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB, \\ C \to aR_1C \mid aC \mid c \mid aR_1CR_2 \mid aCR_2 \mid cR_2, \\ R_1 \to BR_1 \mid B, \\ R_2 \to BR_1CR_2 \mid BCR_2 \mid BR_1C \mid BC \end{array} \right\}$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Nas regras de derivação de A, substituir C's iniciais por suas regras insere um terminal no lado direito das regras de A:

$$
\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
S \to AB \mid \varepsilon \\
A \to aR_1 \mid a \mid \\
\qquad aR_1CBR_1 \mid aCBR_1 \mid cBR_1 \mid aR_1CR_2BR_1 \mid aCR_2BR_1 \mid cR_2BR_1 \mid \\
\qquad aR_1CB \mid aCB \mid cB \mid aR_1CR_2B \mid aCR_2B \mid cR_2B, \\
B \to aR_1B \mid aB \mid b \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB, \\
C \to aR_1C \mid aC \mid c \mid aR_1CR_2 \mid aCR_2 \mid cR_2, \\
R_1 \to BR_1 \mid B, \\
R_2 \to BR_1CR_2 \mid BCR_2 \mid BR_1C \mid BC
\end{array} \right\}
$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Na regra de derivação de $S \to AB$, substituir A por suas regras insere um terminal no lado direito das regras de S:

$$
\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
S \to \varepsilon \mid \\
\qquad aR_1B \mid aB \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB\,, \\
A \to aR_1 \mid a \mid \\
\qquad aR_1CBR_1 \mid aCBR_1 \mid cBR_1 \mid aR_1CR_2BR_1 \mid aCR_2BR_1 \mid cR_2BR_1 \mid \\
\qquad aR_1CB \mid aCB \mid cB \mid aR_1CR_2B \mid aCR_2B \mid cR_2B\,, \\
B \to aR_1B \mid aB \mid b \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB\,, \\
C \to aR_1C \mid aC \mid c \mid aR_1CR_2 \mid aCR_2 \mid cR_2\,, \\
R_1 \to BR_1 \mid B\,, \\
R_2 \to BR_1CR_2 \mid BCR_2 \mid BR_1C \mid BC
\end{array} \right\}
$$

- Variável A tornou-se inútil!

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Nas regras de derivação de R_1, substituir B's iniciais por suas regras insere um terminal no lado direito das regras de R_1:

$$
\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
S \to \varepsilon \mid \\
\qquad aR_1B \mid aB \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB\,, \\
B \to aR_1B \mid aB \mid b \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB\,, \\
C \to aR_1C \mid aC \mid c \mid aR_1CR_2 \mid aCR_2 \mid cR_2\,, \\
R_1 \to aR_1BR_1 \mid aBR_1 \mid bR_1 \mid \\
\qquad aR_1CBR_1BR_1 \mid aCBR_1BR_1 \mid cBR_1BR_1 \mid aR_1CR_2BR_1BR_1 \mid aCR_2BR_1BR_1 \mid cR_2BR_1BR_1 \mid \\
\qquad aR_1CBBR_1 \mid aCBBR_1 \mid cBBR_1 \mid aR_1CR_2BBR_1 \mid aCR_2BBR_1 \mid cR_2BBR_1 \mid \\
\qquad aR_1B \mid aB \mid b \mid \\
\qquad aR_1CBR_1B \mid aCBR_1B \mid cBR_1B \mid aR_1CR_2BR_1B \mid aCR_2BR_1B \mid cR_2BR_1B \mid \\
\qquad aR_1CBB \mid aCBB \mid cBB \mid aR_1CR_2BB \mid aCR_2BB \mid cR_2BB\,, \\
R_2 \to BR_1CR_2 \mid BCR_2 \mid BR_1C \mid BC
\end{array} \right\}
$$

Forma normal de Chomsky para forma normal de Greibach

Exemplo 1.94

- Nas regras de derivação de R_2, substituir B's iniciais por suas regras insere um terminal no lado direito das regras de R_2:

$$
\cdots \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
R_2 \to aR_1BR_1CR_2 \mid aBR_1CR_2 \mid bR_1CR_2 \mid \\
\qquad aR_1CBR_1BR_1CR_2 \mid aCBR_1BR_1CR_2 \mid cBR_1BR_1CR_2 \mid \\
\qquad\qquad aR_1CR_2BR_1BR_1CR_2 \mid aCR_2BR_1BR_1CR_2 \mid cR_2BR_1BR_1CR_2 \mid \\
\\
\qquad aR_1CBBR_1CR_2 \mid aCBBR_1CR_2 \mid cBBR_1CR_2 \mid aR_1CR_2BBR_1CR_2 \mid aCR_2BBR_1CR_2 \mid cR_2BBR_1CR_2 \mid \\
\qquad aR_1BCR_2 \mid aB \mid bCR_2 \mid \\
\qquad aR_1CBR_1BCR_2 \mid aCBR_1BCR_2 \mid cBR_1BCR_2 \mid aR_1CR_2BR_1BCR_2 \mid aCR_2BR_1BCR_2 \mid cR_2BR_1BCR_2 \mid \\
\qquad aR_1CBBCR_2 \mid aCBBCR_2 \mid cBBCR_2 \mid aR_1CR_2BBCR_2 \mid aCR_2BBCR_2 \mid cR_2BBCR_2 \mid \\
\qquad aR_1BR_1C \mid aBR_1C \mid bR_1C \mid \\
\qquad aR_1CBR_1BR_1C \mid aCBR_1BR_1C \mid cBR_1BR_1C \mid aR_1CR_2BR_1BR_1C \mid aCR_2BR_1BR_1C \mid cR_2BR_1BR_1C \mid \\
\qquad aR_1CBBR_1C \mid aCBBR_1C \mid cBBR_1C \mid aR_1CR_2BBR_1C \mid aCR_2BBR_1C \mid cR_2BBR_1C \mid \\
\qquad aR_1BC \mid aBC \mid bC \mid \\
\qquad aR_1CBR_1BC \mid aCBR_1BC \mid cBR_1BC \mid aR_1CR_2BR_1BC \mid aCR_2BR_1BC \mid cR_2BR_1BC \mid \\
\qquad aR_1CBBC \mid aCBBC \mid cBBC \mid aR_1CR_2BBC \mid aCR_2BBC \mid cR_2BBC
\end{array} \right\}
$$

Forma normal de Greibach

Teorema 1.95

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma GLC, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V, \Sigma, P', S)$, equivalente a G, na forma normal de Greibach.*

Demonstração.

- Mostrar que as regras de derivação de G podem ser convertidas para uma das formas:
  1. $A_k \to A_j w$ com $k < j$,
  2. $A_k \to aw$,

  onde j e k representam a ordem das variáveis.

□

Formas normais para GLC's

Forma normal de Greibach

Teorema 1.95

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma GLC, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V, \Sigma, P', S)$, equivalente a G, na forma normal de Greibach.*

Demonstração.

- Indução na ordem das variáveis.
  1. Base:
     S é de ordem 1 e como S não é recursiva, a condição é satisfeita.
  2. Hipótese:
     Suponha que todas as variáveis até a de ordem k satisfaçam a condição.

□

Formas normais para GLC's

Forma normal de Greibach

Teorema 1.95

- *Se $G = (V, \Sigma, P, S)$ é uma GLC, então existe um algoritmo para construir uma gramática $G' = (V, \Sigma, P', S)$, equivalente a G, na forma normal de Greibach.*

Demonstração.

3. Passo Indutivo:
   - Se $A_k \to A_i w$ com $i < k$, substituir A_i e gerar um conjunto de regras da forma $A_k \to A_j w$, onde $j > i$.
     - Por H.I. A_i satisfaz a condição.
   - Este processo pode ser repetido $k - i$ vezes.
   - Todas as recursões diretas à esquerda podem ser eliminadas usando o Lema 1.82.

□

Formas normais para GLC's

Livros texto

R. P. Grimaldi
Discrete and Combinatorial Mathematics – An Applied Introduction.
Addison Wesley, 1994.

D. J. Velleman
How To Prove It – A Structured Approach.
Cambridge University Press, 1996.

J. E. Hopcroft; J. Ullman.
Introdução Ã Teoria de Autômatos, Linguagens e Computação.
Ed. Campus.

T. A. Sudkamp.
Languages and Machines – An Introduction to the Theory of Computer Science.
Addison Wesley Longman, Inc. 1998.

J. Carroll; D. Long.
Theory of Finite Automata – With an Introduction to Formal Languages.
Prentice-Hall, 1989.

M. Sipser.
Introduction to the Theory of Computation.
PWS Publishing Company, 1997.

H. R. Lewis; C. H. Papadimitriou
Elementos de Teoria da Computação.
Bookman, 2000.