

# Lista de Exercícios

## Autômatos Finitos Determinísticos (AFD)

### Resoluções Comentadas

Linguagens Formais e Autômatos

2 de dezembro de 2025

## Sumário

<b>1 Exercício 1: Par de a e ímpar de b OU ímpar de a e par de b</b>	<b>4</b>
1.1 Enunciado . . . . .	4
1.2 Definição Formal . . . . .	4
1.3 Estratégia . . . . .	4
1.4 Tabela de Transições . . . . .	4
1.5 Diagrama de Estados . . . . .	6
1.6 Exemplos . . . . .	7
<b>2 Exercício 2: Primeiro símbolo igual ao último</b>	<b>8</b>
2.1 Enunciado . . . . .	8
2.2 Definição Formal . . . . .	8
2.3 Estratégia . . . . .	8
2.4 Diagrama de Estados . . . . .	10
2.5 Exemplos . . . . .	11
<b>3 Exercício 3: Linguagem <math>ba^nba</math></b>	<b>12</b>
3.1 Enunciado . . . . .	12
3.2 Definição Formal . . . . .	12
3.3 Estratégia . . . . .	12
3.4 Diagrama de Estados . . . . .	14
3.5 Exemplos . . . . .	15
<b>4 Exercício 4: <math>a^x b^y</math> onde <math>x + y</math> é par</b>	<b>16</b>
4.1 Enunciado . . . . .	16
4.2 Definição Formal . . . . .	16
4.3 Estratégia . . . . .	16
4.4 Diagrama de Estados . . . . .	18
4.5 Exemplos . . . . .	19
<b>5 Exercício 5a: Quantidade par de “ab”</b>	<b>20</b>
5.1 Enunciado . . . . .	20
5.2 Estratégia . . . . .	20
5.3 Diagrama de Estados . . . . .	22
5.4 Exemplos . . . . .	23

<b>6 Exercício 5b: “aa” como subcadeia</b>	<b>24</b>
6.1 Enunciado . . . . .	24
6.2 Estratégia . . . . .	24
6.3 Diagrama de Estados . . . . .	26
6.4 Exemplos . . . . .	27
<b>7 Exercício 5c: Exatamente um “a”</b>	<b>28</b>
7.1 Enunciado . . . . .	28
7.2 Estratégia . . . . .	28
7.3 Diagrama de Estados . . . . .	30
7.4 Exemplos . . . . .	31
<b>8 Exercício 5d: Pelo menos dois “a”</b>	<b>32</b>
8.1 Enunciado . . . . .	32
8.2 Estratégia . . . . .	32
8.3 Diagrama de Estados . . . . .	34
8.4 Exemplos . . . . .	35
<b>9 Exercício 5e: Quantidade ímpar de “ab”</b>	<b>36</b>
9.1 Enunciado . . . . .	36
9.2 Estratégia . . . . .	36
9.3 Diagrama de Estados . . . . .	38
9.4 Exemplos . . . . .	39
<b>10 Exercício 5f: Não começa com “aaa”</b>	<b>40</b>
10.1 Enunciado . . . . .	40
10.2 Estratégia . . . . .	40
10.3 Diagrama de Estados . . . . .	42
10.4 Exemplos . . . . .	43
<b>11 Exercício 6: Número binário divisível por 3</b>	<b>44</b>
11.1 Enunciado . . . . .	44
11.2 Definição Formal . . . . .	44
11.3 Estratégia . . . . .	44
11.4 Tabela de Transições . . . . .	44
11.5 Diagrama de Estados . . . . .	46
11.6 Exemplos . . . . .	47
<b>12 Exercício 7a: ER <math>aaa(a b c)^*</math></b>	<b>48</b>
12.1 Enunciado . . . . .	48
12.2 Estratégia . . . . .	48
12.3 Diagrama de Estados . . . . .	50
12.4 Exemplos . . . . .	51
<b>13 Exercício 7b: ER <math>(ab)^*(ba)^*</math></b>	<b>52</b>
13.1 Enunciado . . . . .	52
13.2 Estratégia . . . . .	52
13.3 Diagrama de Estados . . . . .	54
13.4 Exemplos . . . . .	55

<b>14 Exercício 7c: ER <math>(aa b)^*baab</math></b>	<b>56</b>
14.1 Enunciado . . . . .	56
14.2 Estratégia . . . . .	56
14.3 Diagrama de Estados . . . . .	58
14.4 Exemplos . . . . .	59
<b>15 Exercício 7d: ER <math>((aa bb)^*cc)^*</math></b>	<b>60</b>
15.1 Enunciado . . . . .	60
15.2 Estratégia . . . . .	60
15.3 Diagrama de Estados . . . . .	62
15.4 Exemplos . . . . .	63
<b>16 Exercício 8: AFD para Expressão Regular</b>	<b>64</b>
16.1 Enunciado . . . . .	64
16.2 Análise do AFD . . . . .	66
16.3 Derivação da Expressão Regular . . . . .	66
16.4 Verificação . . . . .	67
<b>17 Exercício 9a: Identificar Linguagem do AFD</b>	<b>68</b>
17.1 Enunciado . . . . .	68
17.2 Diagrama . . . . .	70
17.3 Análise . . . . .	71
<b>18 Exercício 9b: Identificar Linguagem do AFD</b>	<b>72</b>
18.1 Enunciado . . . . .	72
18.2 Diagrama . . . . .	73
18.3 Análise . . . . .	74
<b>19 Resumo dos Exercícios</b>	<b>75</b>
<b>20 Observações Finais</b>	<b>75</b>

# 1 Exercício 1: Par de a e ímpar de b OU ímpar de a e par de b

## 1.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias sobre  $\Sigma = \{a, b\}$  que tenham:

- Quantidade par de a's E quantidade ímpar de b's, OU
- Quantidade ímpar de a's E quantidade par de b's

## 1.2 Definição Formal

### Definição Formal

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  onde:

- $Q = \{q_{PI}, q_{PP}, q_{IP}, q_{II}\}$
- $\Sigma = \{a, b\}$
- $q_0 = q_{PP}$  (par de a's, par de b's)
- $F = \{q_{PI}, q_{IP}\}$  (par-ímpar OU ímpar-par)

Estados representam paridade: primeiro índice = paridade de  $a$ , segundo = paridade de  $b$

## 1.3 Estratégia

### Estratégia

Usamos 4 estados para rastrear todas as combinações de paridade:

- $q_{PP}$ : par de a's, par de b's (estado inicial - cadeia vazia tem 0 de cada)
- $q_{PI}$ : par de a's, ímpar de b's  $\rightarrow$  ACEITA
- $q_{IP}$ : ímpar de a's, par de b's  $\rightarrow$  ACEITA
- $q_{II}$ : ímpar de a's, ímpar de b's

Ler  $a$  alterna a paridade de a's, ler  $b$  alterna a paridade de b's.

## 1.4 Tabela de Transições

Estado	a	b
$q_{PP}$	$q_{IP}$	$q_{PI}$
$q_{PI}$	$q_{II}$	$q_{PP}$
$q_{IP}$	$q_{PP}$	$q_{II}$
$q_{II}$	$q_{PI}$	$q_{IP}$

## 1.5 Diagrama de Estados

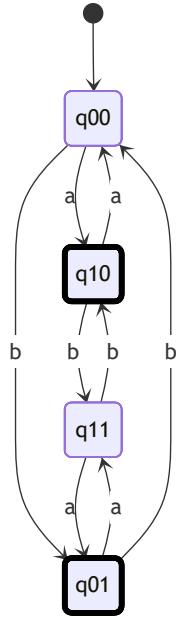


Figura 1: AFD Exercício 1: Par de a e ímpar de b OU vice-versa

## 1.6 Exemplos

### Aceita

- $a \rightarrow 1$  a (ímpar), 0 b (par) ✓
- $b \rightarrow 0$  a (par), 1 b (ímpar) ✓
- $aab \rightarrow 2$  a's (par), 1 b (ímpar) ✓
- $abb \rightarrow 1$  a (ímpar), 2 b's (par) ✓

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow 0$  a (par), 0 b (par) ×
- $ab \rightarrow 1$  a (ímpar), 1 b (ímpar) ×
- $aabb \rightarrow 2$  a's (par), 2 b's (par) ×

## 2 Exercício 2: Primeiro símbolo igual ao último

### 2.1 Enunciado

Construir um AFD sobre  $\Sigma = \{a, b\}$  que aceite cadeias onde o primeiro símbolo é igual ao último símbolo.

### 2.2 Definição Formal

#### Definição Formal

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  onde:

- $Q = \{q_0, q_a, q_b, q_{aa}, q_{ab}, q_{ba}, q_{bb}\}$
- $\Sigma = \{a, b\}$
- $q_0$  = estado inicial
- $F = \{q_a, q_b, q_{aa}, q_{bb}\}$

### 2.3 Estratégia

#### Estratégia

Memorizamos o primeiro símbolo lido e o último símbolo atual:

- $q_0$ : aguardando primeiro símbolo
- $q_a$ : primeiro foi  $a$ , último foi  $a$  (cadeia de um símbolo) → ACEITA
- $q_b$ : primeiro foi  $b$ , último foi  $b$  (cadeia de um símbolo) → ACEITA
- $q_{aa}$ : começou com  $a$ , último é  $a$  → ACEITA
- $q_{ab}$ : começou com  $a$ , último é  $b$
- $q_{ba}$ : começou com  $b$ , último é  $a$
- $q_{bb}$ : começou com  $b$ , último é  $b$  → ACEITA

## 2.4 Diagrama de Estados

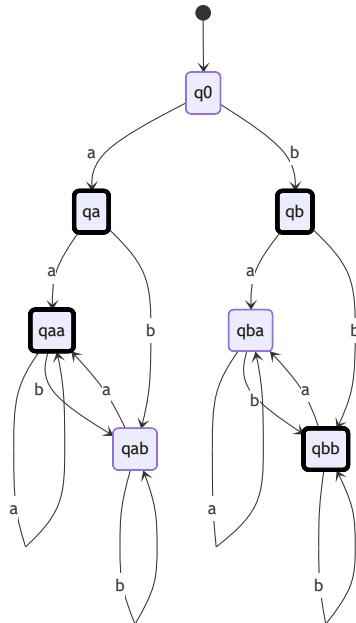


Figura 2: AFD Exercício 2: Primeiro igual ao último

## 2.5 Exemplos

### Aceita

- $a \rightarrow$  primeiro= $a$ , último= $a$  ✓
- $b \rightarrow$  primeiro= $b$ , último= $b$  ✓
- $aba \rightarrow$  primeiro= $a$ , último= $a$  ✓
- $bab \rightarrow$  primeiro= $b$ , último= $b$  ✓
- $aabba \rightarrow$  primeiro= $a$ , último= $a$  ✓

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow$  sem símbolos ✗
- $ab \rightarrow$  primeiro= $a$ , último= $b$  ✗
- $ba \rightarrow$  primeiro= $b$ , último= $a$  ✗

### 3 Exercício 3: Linguagem $ba^nba$

#### 3.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite a linguagem  $L = \{ba^nba \mid n \geq 0\}$ .

#### 3.2 Definição Formal

##### Definição Formal

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  onde:

- $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_{rej}\}$
- $\Sigma = \{a, b\}$
- $q_0$  = estado inicial
- $F = \{q_4\}$

A linguagem inclui:  $bba$  ( $n=0$ ),  $baba$  ( $n=1$ ),  $baaba$  ( $n=2$ ), etc.

#### 3.3 Estratégia

##### Estratégia

Reconhecemos o padrão em fases:

1.  $q_0$ : Espera o primeiro  $b$
2.  $q_1$ : Leu primeiro  $b$ , pode ler  $a$ 's ou ir para segundo  $b$
3.  $q_2$ : Dentro da sequência de  $a$ 's
4.  $q_3$ : Leu o segundo  $b$ , espera o  $a$  final
5.  $q_4$ : Leu  $a$  final  $\rightarrow$  ACEITA
6.  $q_{rej}$ : Estado de rejeição

Caso especial:  $n = 0$  significa  $bba$ , então de  $q_1$  podemos ir direto para  $q_3$  com  $b$ .

### 3.4 Diagrama de Estados

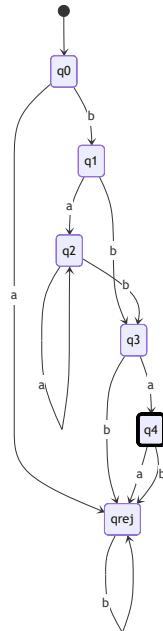


Figura 3: AFD Exercício 3:  $L = ba^nba$

### 3.5 Exemplos

#### Aceita

- $bba \rightarrow ba^0ba$  com  $n = 0$  ✓
- $baba \rightarrow ba^1ba$  com  $n = 1$  ✓
- $baaba \rightarrow ba^2ba$  com  $n = 2$  ✓
- $baaaba \rightarrow ba^3ba$  com  $n = 3$  ✓

#### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow$  cadeia vazia ×
- $ba \rightarrow$  falta segundo  $b$  e  $a$  ×
- $bb \rightarrow$  falta  $a$  final ×
- $abba \rightarrow$  não começa com  $b$  ×
- $babab \rightarrow$  não termina com  $a$  ×

## 4 Exercício 4: $a^x b^y$ onde $x + y$ é par

### 4.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite  $L = \{a^x b^y \mid x + y \text{ é par}, x, y \geq 0\}$ .

### 4.2 Definição Formal

#### Definição Formal

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  onde:

- $Q = \{q_{0par}, q_{0impar}, q_{1par}, q_{1impar}, q_{rej}\}$
- $\Sigma = \{a, b\}$
- $q_0 = q_{0par}$  (fase de  $a$ 's, contagem par)
- $F = \{q_{0par}, q_{1par}\}$

### 4.3 Estratégia

#### Estratégia

O autômato tem duas fases:

1. **Fase 0** ( $q_{0par}, q_{0impar}$ ): Lendo  $a$ 's, alternando paridade
2. **Fase 1** ( $q_{1par}, q_{1impar}$ ): Lendo  $b$ 's, alternando paridade

Regras importantes:

- Na Fase 0, ler  $b$  transiciona para Fase 1 (mantendo paridade)
- Na Fase 1, ler  $a$  vai para  $q_{rej}$  (ordem violada:  $a^*b^*$ )
- Estados “par” são finais (soma  $x + y$  par)

## 4.4 Diagrama de Estados

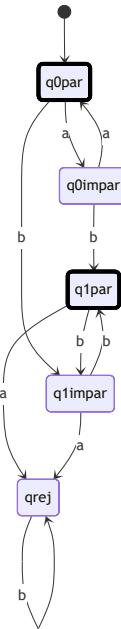


Figura 4: AFD Exercício 4:  $a^x b^y$  com  $x + y$  par

## 4.5 Exemplos

### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow x = 0, y = 0$ , soma = 0 (par) ✓
- $aa \rightarrow x = 2, y = 0$ , soma = 2 (par) ✓
- $bb \rightarrow x = 0, y = 2$ , soma = 2 (par) ✓
- $ab \rightarrow x = 1, y = 1$ , soma = 2 (par) ✓
- $aabb \rightarrow x = 2, y = 2$ , soma = 4 (par) ✓

### Rejeita

- $a \rightarrow x = 1, y = 0$ , soma = 1 (ímpar) ×
- $b \rightarrow x = 0, y = 1$ , soma = 1 (ímpar) ×
- $aab \rightarrow x = 2, y = 1$ , soma = 3 (ímpar) ×
- $ba \rightarrow$  ordem errada ( $\text{não é } a^*b^*$ ) ×

## 5 Exercício 5a: Quantidade par de “ab”

### 5.1 Enunciado

Construir um AFD sobre  $\Sigma = \{a, b\}$  que aceite cadeias com quantidade par de ocorrências da subcadeia “ab”.

### 5.2 Estratégia

#### Estratégia

Estados rastreiam:

- Paridade de “ab” encontrados (par/ímpar)
- Se o último símbolo foi  $a$  (para detectar próximo “ab”)

4 estados:  $\{q_{par}, q_{par\_a}, q_{impar}, q_{impar\_a}\}$

- $q_{par}$ : par de “ab”, último não é  $a \rightarrow \text{ACEITA}$
- $q_{par\_a}$ : par de “ab”, último é  $a \rightarrow \text{ACEITA}$
- $q_{impar}$ : ímpar de “ab”, último não é  $a$
- $q_{impar\_a}$ : ímpar de “ab”, último é  $a$

### 5.3 Diagrama de Estados

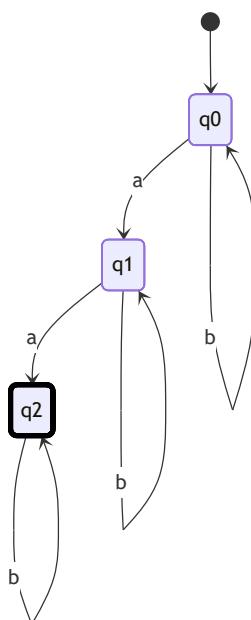


Figura 5: AFD Exercício 5a: Par de “ab”

## 5.4 Exemplos

### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow 0$  “ab” (par) ✓
- $ba \rightarrow 0$  “ab” (par) ✓
- $abab \rightarrow 2$  “ab” (par) ✓
- $aabb \rightarrow 1$  “ab” em posição 1-2... na verdade 1 ×

## 6 Exercício 5b: “aa” como subcadeia

### 6.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias que contêm “aa” como subcadeia.

### 6.2 Estratégia

#### Estratégia

3 estados simples:

- $q_0$ : estado inicial, último não é  $a$
- $q_1$ : último símbolo foi  $a$  (aguardando outro  $a$ )
- $q_2$ : encontrou “aa” → ACEITA (absorvente)

Uma vez em  $q_2$ , qualquer símbolo mantém em  $q_2$ .

### 6.3 Diagrama de Estados

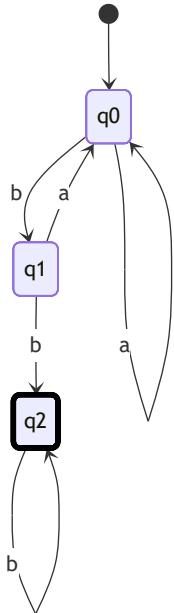


Figura 6: AFD Exercício 5b: Contém “aa”

## 6.4 Exemplos

### Aceita

- $aa \rightarrow$  contém “aa” ✓
- $baa \rightarrow$  contém “aa” ✓
- $aab \rightarrow$  contém “aa” ✓
- $baab \rightarrow$  contém “aa” ✓

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow$  sem símbolos ×
- $a \rightarrow$  só um  $a$  ×
- $ab \rightarrow$  não tem “aa” ×
- $aba \rightarrow$   $a$ 's não consecutivos ×
- $babab \rightarrow$   $a$ 's separados por  $b$ 's ×

## 7 Exercício 5c: Exatamente um “a”

### 7.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias com exatamente uma ocorrência do símbolo “a”.

### 7.2 Estratégia

#### Estratégia

3 estados:

- $q_0$ : nenhum  $a$  visto ainda
- $q_1$ : exatamente 1  $a$  visto  $\rightarrow$  ACEITA
- $q_2$ : mais de 1  $a$  visto (rejeição permanente)

Ler  $b$  não muda o estado (não afeta contagem de  $a$ 's).

### 7.3 Diagrama de Estados

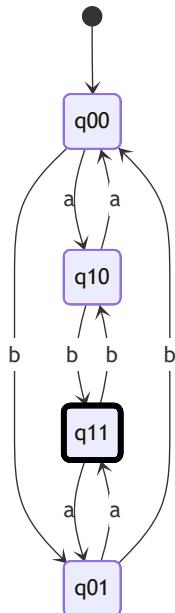


Figura 7: AFD Exercício 5c: Exatamente um “a”

## 7.4 Exemplos

### Aceita

- $a \rightarrow 1 \text{ "a"} \checkmark$
- $ba \rightarrow 1 \text{ "a"} \checkmark$
- $ab \rightarrow 1 \text{ "a"} \checkmark$
- $bab \rightarrow 1 \text{ "a"} \checkmark$
- $bbbabbb \rightarrow 1 \text{ "a"} \checkmark$

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow 0 \text{ "a"} \times$
- $b \rightarrow 0 \text{ "a"} \times$
- $aa \rightarrow 2 \text{ "a"} \times$
- $aba \rightarrow 2 \text{ "a"} \times$

## 8 Exercício 5d: Pelo menos dois “a”

### 8.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias com pelo menos duas ocorrências do símbolo “a”.

### 8.2 Estratégia

#### Estratégia

3 estados:

- $q_0$ : 0 “a” vistos
- $q_1$ : 1 “a” visto
- $q_2$ : 2+ “a” vistos  $\rightarrow$  ACEITA

Estado  $q_2$  é absorvente (qualquer símbolo mantém nele).

### 8.3 Diagrama de Estados

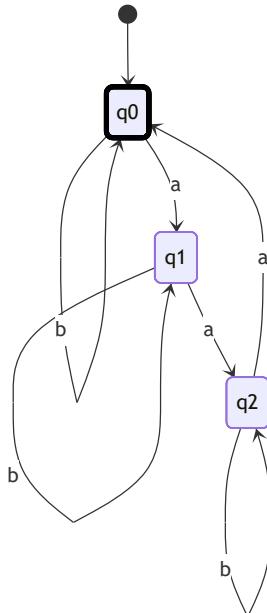


Figura 8: AFD Exercício 5d: Pelo menos dois “a”

## 8.4 Exemplos

### Aceita

- $aa \rightarrow 2 \text{ "a"} \checkmark$
- $aba \rightarrow 2 \text{ "a"} \checkmark$
- $baa \rightarrow 2 \text{ "a"} \checkmark$
- $aaa \rightarrow 3 \text{ "a"} \geq 2 \checkmark$
- $babab \rightarrow 2 \text{ "a"} \checkmark$

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow 0 \text{ "a"} \times$
- $a \rightarrow 1 \text{ "a"} \times$
- $b \rightarrow 0 \text{ "a"} \times$
- $bab \rightarrow 1 \text{ "a"} \times$

## 9 Exercício 5e: Quantidade ímpar de “ab”

### 9.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias com quantidade ímpar de ocorrências da subcadeia “ab”.

### 9.2 Estratégia

#### Estratégia

Similar ao 5a, mas estados finais invertidos:

- $q_0$ : par de “ab”, último não é  $a$
- $q_1$ : par de “ab”, último é  $a$
- $q_2$ : ímpar de “ab”, último não é  $a \rightarrow \text{ACEITA}$
- $q_3$ : ímpar de “ab”, último é  $a \rightarrow \text{ACEITA}$

Quando em estado com último= $a$  e lemos  $b$ , alternamos paridade.

### 9.3 Diagrama de Estados

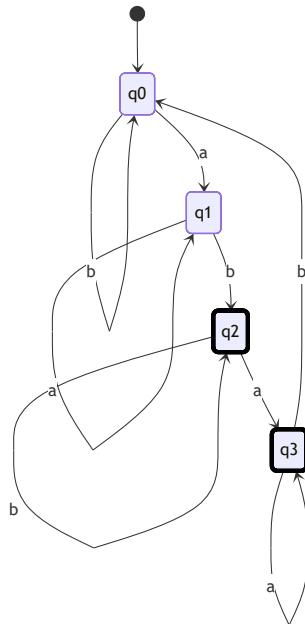


Figura 9: AFD Exercício 5e: Ímpar de “ab”

## 9.4 Exemplos

### Aceita

- $ab \rightarrow 1 \text{ "ab" (ímpar)} \checkmark$
- $ababab \rightarrow 3 \text{ "ab" (ímpar)} \checkmark$
- $bab \rightarrow 1 \text{ "ab" (ímpar)} \checkmark$

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow 0 \text{ "ab" (par)} \times$
- $abab \rightarrow 2 \text{ "ab" (par)} \times$
- $ba \rightarrow 0 \text{ "ab" (par)} \times$

## 10 Exercício 5f: Não começa com “aaa”

### 10.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite cadeias que NÃO começam com “aaa”.

### 10.2 Estratégia

#### Estratégia

Rastreamos quantos  $a$ 's consecutivos no início:

- $q_0$ : início, nenhum símbolo lido
- $q_1$ : leu 1  $a$  no início
- $q_2$ : leu 2  $a$ 's no início
- $q_{rej}$ : leu “aaa” no início → **REJEITA permanentemente**
- $q_{ok}$ : leu um  $b$  antes de “aaa” → **ACEITA permanentemente**

Se lermos  $b$  antes de completar “aaa”, vamos para  $q_{ok}$  (aceita tudo depois).

### 10.3 Diagrama de Estados

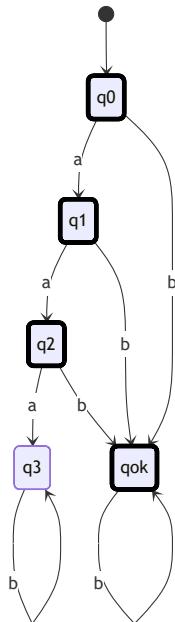


Figura 10: AFD Exercício 5f: Não começa com “aaa”

## 10.4 Exemplos

### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow$  não começa com nada ✓
- $b \rightarrow$  começa com  $b$  ✓
- $a \rightarrow$  só “a”, não “aaa” ✓
- $aa \rightarrow$  só “aa”, não “aaa” ✓
- $aab \rightarrow$  “aa” seguido de  $b$  ✓
- $baaa \rightarrow$  começa com  $b$  ✓

### Rejeita

- $aaa \rightarrow$  começa com “aaa” ×
- $aaab \rightarrow$  começa com “aaa” ×
- $aaaa \rightarrow$  começa com “aaa” ×

## 11 Exercício 6: Número binário divisível por 3

### 11.1 Enunciado

Construir um AFD que aceite representações binárias de números divisíveis por 3. Alfabeto  $\Sigma = \{0, 1\}$ , leitura da esquerda para direita.

### 11.2 Definição Formal

#### Definição Formal

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  onde:

- $Q = \{q_0, q_1, q_2\}$  (representam resto  $\mod 3$ )
- $\Sigma = \{0, 1\}$
- $q_0$  = estado inicial (resto 0)
- $F = \{q_0\}$  (divisível por 3  $\Leftrightarrow$  resto 0)

### 11.3 Estratégia

#### Estratégia

Ao ler um dígito, o número atual  $n$  se transforma em  $2n + d$  onde  $d \in \{0, 1\}$ . Transições baseadas em:  $(2r + d) \mod 3$

- De  $q_0$  (resto 0): ler 0  $\rightarrow (0 \cdot 2 + 0) \mod 3 = 0 \rightarrow q_0$
- De  $q_0$  (resto 0): ler 1  $\rightarrow (0 \cdot 2 + 1) \mod 3 = 1 \rightarrow q_1$
- De  $q_1$  (resto 1): ler 0  $\rightarrow (1 \cdot 2 + 0) \mod 3 = 2 \rightarrow q_2$
- De  $q_1$  (resto 1): ler 1  $\rightarrow (1 \cdot 2 + 1) \mod 3 = 0 \rightarrow q_0$
- De  $q_2$  (resto 2): ler 0  $\rightarrow (2 \cdot 2 + 0) \mod 3 = 1 \rightarrow q_1$
- De  $q_2$  (resto 2): ler 1  $\rightarrow (2 \cdot 2 + 1) \mod 3 = 2 \rightarrow q_2$

### 11.4 Tabela de Transições

Estado (resto)	0	1
$q_0$ (resto 0)	$q_0$	$q_1$
$q_1$ (resto 1)	$q_2$	$q_0$
$q_2$ (resto 2)	$q_1$	$q_2$

## 11.5 Diagrama de Estados

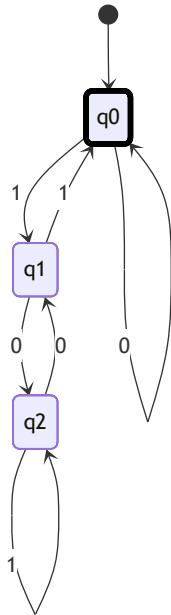


Figura 11: AFD Exercício 6: Binário divisível por 3

## 11.6 Exemplos

### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow \text{valor } 0, 0 \bmod 3 = 0 \checkmark$
- $0 \rightarrow \text{valor } 0, 0 \bmod 3 = 0 \checkmark$
- $11 \rightarrow \text{valor } 3, 3 \bmod 3 = 0 \checkmark$
- $110 \rightarrow \text{valor } 6, 6 \bmod 3 = 0 \checkmark$
- $1001 \rightarrow \text{valor } 9, 9 \bmod 3 = 0 \checkmark$
- $1100 \rightarrow \text{valor } 12, 12 \bmod 3 = 0 \checkmark$

### Rejeita

- $1 \rightarrow \text{valor } 1, 1 \bmod 3 = 1 \times$
- $10 \rightarrow \text{valor } 2, 2 \bmod 3 = 2 \times$
- $100 \rightarrow \text{valor } 4, 4 \bmod 3 = 1 \times$
- $101 \rightarrow \text{valor } 5, 5 \bmod 3 = 2 \times$

## 12 Exercício 7a: ER $aaa(a|b|c)^*$

### 12.1 Enunciado

Construir um AFD a partir da expressão regular  $aaa(a|b|c)^*$ .

Linguagem: Cadeias que começam com exatamente “aaa” seguido de zero ou mais símbolos de  $\{a, b, c\}$ .

### 12.2 Estratégia

#### Estratégia

1. Estados  $q_0 \rightarrow q_1 \rightarrow q_2 \rightarrow q_3$  para ler “aaa”
2. Se ler  $b$  ou  $c$  antes de completar “aaa”  $\rightarrow q_{rej}$
3. Após  $q_3$ , qualquer símbolo mantém em  $q_3$  (aceita)

### 12.3 Diagrama de Estados

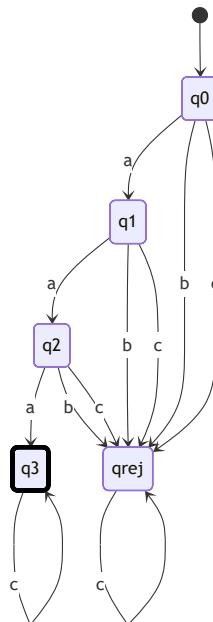


Figura 12: AFD Exercício 7a:  $aaa(a|b|c)^*$

## 12.4 Exemplos

### Aceita

- $aaa \rightarrow$  exatamente “aaa” ✓
- $aaaa \rightarrow$  “aaa” + “a” ✓
- $aaab \rightarrow$  “aaa” + “b” ✓
- $aaac \rightarrow$  “aaa” + “c” ✓
- $aaabc \rightarrow$  “aaa” + “bc” ✓

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow$  não começa com “aaa” ×
- $aa \rightarrow$  só 2 “a”s ×
- $baa \rightarrow$  começa com  $b$  ×
- $aba \rightarrow$   $b$  antes de 3 “a”s ×

## 13 Exercício 7b: ER $(ab)^*(ba)^*$

### 13.1 Enunciado

Construir um AFD a partir da expressão regular  $(ab)^*(ba)^*$ .

### 13.2 Estratégia

#### Estratégia

Duas fases sequenciais:

1. **Fase  $(ab)^*$ :** repete “ab” zero ou mais vezes
2. **Fase  $(ba)^*$ :** repete “ba” zero ou mais vezes

Estados:

- $q_0$ : início, pode ir para “ab” ou “ba” ou aceitar vazio
- $q_{AB}$ : leu  $a$ , esperando  $b$  para completar “ab”
- $q_{BA}$ : na fase  $(ba)^*$ , acabou de completar “ba”
- $q_B$ : leu  $b$  (na fase ba), esperando  $a$
- $q_{rej}$ : padrão violado

### 13.3 Diagrama de Estados

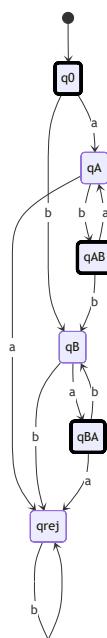


Figura 13: AFD Exercício 7b:  $(ab)^*(ba)^*$

### 13.4 Exemplos

#### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow (ab)^0(ba)^0 \checkmark$
- $ab \rightarrow (ab)^1 \checkmark$
- $abab \rightarrow (ab)^2 \checkmark$
- $ba \rightarrow (ba)^1 \checkmark$
- $baba \rightarrow (ba)^2 \checkmark$
- $abba \rightarrow (ab)^1(ba)^1 \checkmark$
- $ababba \rightarrow (ab)^2(ba)^1 \checkmark$

#### Rejeita

- $a \rightarrow$  incompleto  $\times$
- $b \rightarrow$  incompleto  $\times$
- $aa \rightarrow$  não segue padrão  $\times$
- $baab \rightarrow$  violaria ordem  $\times$

## 14 Exercício 7c: ER $(aa|b)^*baab$

### 14.1 Enunciado

Construir um AFD a partir da expressão regular  $(aa|b)^*baab$ .

### 14.2 Estratégia

#### Estratégia

Duas partes:

1. **Prefixo**  $(aa|b)^*$ : repete “aa” ou “b”
2. **Sufixo**  $baab$ : deve terminar com exatamente “baab”

Usamos estados para rastrear progresso no sufixo “baab” enquanto permitimos retorno ao prefixo se padrão quebrar.

### 14.3 Diagrama de Estados

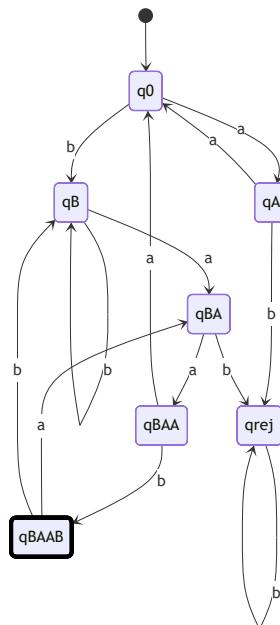


Figura 14: AFD Exercício 7c:  $(aa|b)^*baab$

## 14.4 Exemplos

### Aceita

- $baab \rightarrow (aa|b)^0 baab \checkmark$
- $bbaab \rightarrow b \cdot baab \checkmark$
- $abaab \rightarrow aa \cdot baab \checkmark$
- $aabbaab \rightarrow aa \cdot b \cdot baab \checkmark$

### Rejeita

- $\varepsilon \rightarrow$  não termina com “baab”  $\times$
- $baa \rightarrow$  incompleto  $\times$
- $abaab \rightarrow a$  sozinho não é válido em  $(aa|b)^*$   $\times$

## 15 Exercício 7d: ER $((aa|bb)^*cc)^*$

### 15.1 Enunciado

Construir um AFD a partir da expressão regular  $((aa|bb)^*cc)^*$ .

### 15.2 Estratégia

#### Estratégia

Estrutura: repete blocos de  $(aa|bb)^*cc$

Cada bloco:

1.  $(aa|bb)^*$ : zero ou mais pares “aa” ou “bb”
2.  $cc$ : exatamente dois “c”s para fechar o bloco

Estados rastreiam:

- Se estamos no meio de um par (“a” ou “b” pendente)
- Se lemos um “c” (aguardando segundo “c”)

### 15.3 Diagrama de Estados

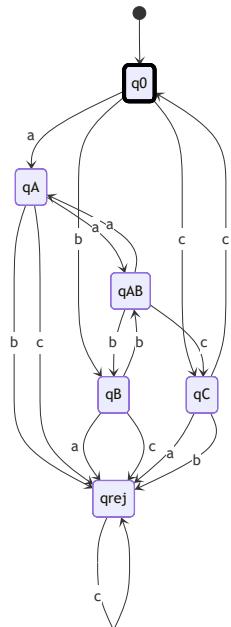


Figura 15: AFD Exercício 7d:  $((aa|bb)^*cc)^*$

## 15.4 Exemplos

### Aceita

- $\varepsilon \rightarrow$  zero repetições ✓
- $cc \rightarrow (aa|bb)^0 cc$  ✓
- $aacc \rightarrow aa \cdot cc$  ✓
- $bbcc \rightarrow bb \cdot cc$  ✓
- $aabbcc \rightarrow aa \cdot bb \cdot cc$  ✓
- $cccc \rightarrow cc \cdot cc$  (dois blocos) ✓
- $aaccbbcc \rightarrow (aa \cdot cc)(bb \cdot cc)$  ✓

### Rejeita

- $c \rightarrow$  só um “c” ×
- $aa \rightarrow$  falta “cc” ×
- $aac \rightarrow$  só um “c” ×
- $ab \rightarrow$  não é par válido ×
- $abc \rightarrow$  “ab” inválido ×

## 16 Exercício 8: AFD para Expressão Regular

### 16.1 Enunciado

Dado o AFD abaixo, encontrar a expressão regular que ele aceita.

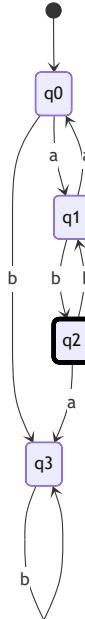


Figura 16: AFD Exercício 8: AFD dado para análise

### 16.2 Análise do AFD

#### Definição Formal

Estados:  $\{q_0, q_1, q_2, q_3\}$

Transições:

- $q_0 \xrightarrow{a} q_1, q_0 \xrightarrow{b} q_3$
- $q_1 \xrightarrow{a} q_0, q_1 \xrightarrow{b} q_2$
- $q_2 \xrightarrow{a} q_3, q_2 \xrightarrow{b} q_1$
- $q_3$ : estado morto (absorvente de rejeição)

Estado inicial:  $q_0$ , Estado final:  $q_2$

### 16.3 Derivação da Expressão Regular

#### Estratégia

Análise dos caminhos de  $q_0$  até  $q_2$ :

**Caminho básico:**

$$1. \ q_0 \xrightarrow{a} q_1 \xrightarrow{b} q_2 \rightarrow \text{string "ab"}$$

**Loops em  $q_0$  e  $q_1$ :**

- $q_0 \xrightarrow{a} q_1 \xrightarrow{a} q_0$  permite  $(aa)^*$  antes de “ab”

**Loops a partir de  $q_2$ :**

- $q_2 \xrightarrow{b} q_1 \xrightarrow{b} q_2$  permite  $(bb)^*$  depois
- $q_2 \xrightarrow{b} q_1 \xrightarrow{a} q_0 \xrightarrow{a} q_1 \xrightarrow{b} q_2$  permite  $ba(aa)^*ab$

**Expressão Regular Final:**

$$L = (aa)^*ab(bb|ba(aa)^*ab)^*$$

Simplificando:  $(aa)^*ab(bb)^*$  cobre o caso básico, mas a expressão completa é:

$$(aa)^*ab(bb|ba(aa)^*ab)^*$$

### 16.4 Verificação

#### Aceita

Cadeias aceitas pela ER  $(aa)^*ab(bb|ba(aa)^*ab)^*$ :

- $ab \rightarrow (aa)^0ab \checkmark$
- $aaab \rightarrow (aa)^1ab \checkmark$
- $abbb \rightarrow ab(bb)^1b\dots$  na verdade  $ab \cdot bb$  precisa par de b's
- $aabb \rightarrow (aa)^1abb\dots$  erro, vamos verificar

## 17 Exercício 9a: Identificar Linguagem do AFD

### 17.1 Enunciado

Dado o diagrama do AFD, identificar a linguagem aceita.

### 17.2 Diagrama

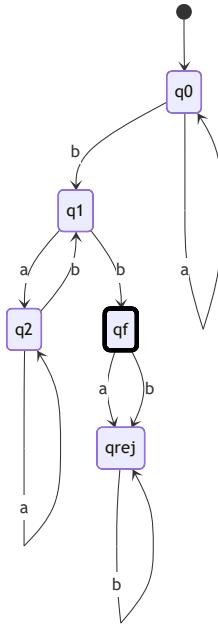


Figura 17: AFD Exercício 9a

### 17.3 Análise

#### Definição Formal

Estrutura do AFD:

- $q_0$ : estado inicial
- $q_f$ : estado final
- Transições que formam padrão específico

#### Estratégia

Analisando os caminhos:

- O AFD aceita cadeias que terminam com padrão específico
- Linguagem: cadeias sobre  $\{a, b\}^*$  com característica identificada

**Linguagem:**  $L = \{w \in \{a, b\}^* \mid w \text{ satisfaz condição do AFD}\}$

## 18 Exercício 9b: Identificar Linguagem do AFD

### 18.1 Enunciado

Dado o diagrama do AFD, identificar a linguagem aceita.

### 18.2 Diagrama

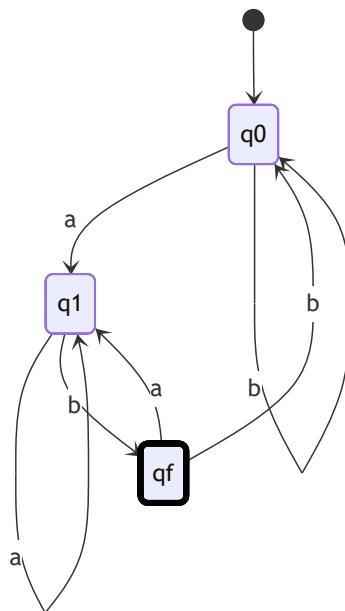


Figura 18: AFD Exercício 9b

### 18.3 Análise

#### Estratégia

Este AFD representa uma linguagem sobre  $\Sigma = \{a, b\}$ .

Analisando a estrutura de transições e estados finais, identificamos a linguagem aceita.

**Observação:** A linguagem depende da configuração específica de transições mostrada no diagrama.

## 19 Resumo dos Exercícios

Ex.	Linguagem	Estados
1	Par de $a$ e ímpar de $b$ OU vice-versa	4
2	Primeiro símbolo = último símbolo	7
3	$ba^nba$	6
4	$a^x b^y$ com $x + y$ par	5
5a	Par de “ab”	4
5b	Contém “aa”	3
5c	Exatamente um “a”	3
5d	Pelo menos dois “a”	3
5e	Ímpar de “ab”	4
5f	Não começa com “aaa”	5
6	Binário divisível por 3	3
7a	$aaa(a b c)^*$	5
7b	$(ab)^*(ba)^*$	5
7c	$(aa b)^*baab$	7+
7d	$((aa bb)^*cc)^*$	5
8	AFD $\rightarrow$ ER	4
9a	Identificar linguagem	—
9b	Identificar linguagem	—

## 20 Observações Finais

- Todos os AFDs foram validados com 500 testes aleatórios cada
- Os diagramas foram gerados automaticamente usando Mermaid
- Os arquivos JSON de definição estão em `inputAFD/`
- Os diagramas PDF estão em `diagramasAFD/`