



UniRuy & Área 1 | Wyden  
PROGRAMA DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
TEORIA DE COMPILADORES

Dalvan Batista Dos Santos

Teoria de Compiladores: Autômato Finito  
determinístico (AFD) autômato finito não  
determinístico (AFND) diagrama de transição  
tabela de transições equivalência entre AFD e  
AFND minimização de estados de AF

Salvador - Bahia - Brasil

2022

Dalvan Batista Dos Santos

Teoria de Compiladores: Autômato Finito determinístico  
(AFD) autômato finito não determinístico (AFND)  
diagrama de transição tabela de transições equivalência  
entre AFD e AFND minimização de estados de AF

Trabalho Acadêmico elaborado junto ao programa de Engenharia UniRuy & Área 1 | Wyden, como requisito para obtenção de nota parcial da AV1 na disciplina Teoria de Compiladores no curso de Graduação em Engenharia da Computação, que tem como objetivo consolidar os tópicos do plano de ensino da disciplina.

Orientador: Prof. MSc. Heleno Cardoso

Salvador - Bahia - Brasil

2022

da Tal, Aluno Fulano

Teoria de Compiladores: Resenha / Mapa Mental / Perguntas

– Aluno Fulano de Tal. Salvador, 2022.  
18 f. : il.

Trabalho Acadêmico apresentado ao Curso de Ciência da Computação, UniRuy & Área 1 | Wyden, como requisito para obtenção de aprovação na disciplina Teoria de Compiladores.

Prof. MSc. Heleno Cardoso da S. Filho.

1. Resenha
2. Mapa Mental
3. Perguntas/Respostas (Mínimo de 03 – Máximo de 05)
4. Conclusão

I. da Silva Filho, Heleno Cardoso II. UniRuy & Área 1  
| Wyden. III. Trabalho Acadêmico

CDD:XXX

# TERMO DE APROVAÇÃO

Dalvan Batista Dos Santos

TEORIA DE COMPILADORES: AUTÔMATO FINITO  
DETERMINÍSTICO (AFD) AUTÔMATO FINITO NÃO  
DETERMINÍSTICO (AFND) DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO TABELA DE  
TRANSIÇÕES EQUIVALÊNCIA ENTRE AFD E AFND MINIMIZAÇÃO  
DE ESTADOS DE AF

Trabalho Acadêmico aprovado como requisito para obtenção de nota parcial da AV1 na  
disciplina Teoria de Compiladores, UniRuy & Área 1 | Wyden, pela seguinte banca  
examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>o</sup>. MSc<sup>o</sup>. Heleno Cardoso  
Wyden

Salvador, 28 de Setembro de 2022

Dedico este trabalho acadêmico a todos que contribuíram direta ou indiretamente com  
minha formação acadêmica.

## Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus. Ele, sabe de todas as coisas, e através da sua infinita misericórdia, se fez presente em todos os momentos dessa trajetória, concedendo-me forças e saúde para continuar perseverante na minha caminhada.

Aos meus amigos e a minha família que sempre torceram por mim.

*"A persistência é o menor caminho do êxito".*

*Charles Chaplin.*

## Resumo

Sendo ele o primeiro modelo computacional, o autômato finito é definido por modelos de reconhecimento. Modelos excelentes quando se tem uma quantidade de memória reduzida, apesar de sua simplicidade, eles são considerados bastantes relevantes. Também chamado de máquina de estado finita determinística. É na teoria da computação é muito de extrema importância o estudo do não determinismo, pois é uma importante generalização dos modelos de máquina. Qualquer AFN pode ser simulado por um AFD.

Palavras-chaves: AFN, AFD, Modelo de Máquina



## Abstract

Since it is the first computational model, the finite automaton is defined by recognition models. Excellent models when you have a reduced amount of memory, despite their simplicity, they are considered quite relevant. Also called a deterministic finite state machine. In the theory of computation, the study of non-determinism is very important, as it is an important generalization of machine models. Any AFN can be simulated by an AFD

Keywords: AFN, AFD, Machine Model

## Lista de figuras

Figura 1 – Esquema Porta . . . . .	13
Figura 2 – Funcionamento do Controlador . . . . .	14
Figura 3 – Definição Formal . . . . .	14
Figura 4 – Exemplo de Autômatos Finitos Não-determinísticos . . . . .	15
Figura 5 – Tabela Unidimensional . . . . .	17
Figura 6 – Tabela Bidimenssional 1 . . . . .	18
Figura 7 – Tabela Bidimenssional 2 . . . . .	18

## Lista de tabelas

## Lista de abreviaturas e siglas

URL - Uniform Resource Locator (Localizador Uniforme de Recursos).

JIT - Just in Time.

DAG - Grafos Acíclicos Dirigidos.

Assembly - Código de máquina.

Scanner - Analisador Léxico.

Parser - Analisador Sintático / Semântico.

## Sumário

<b>1</b>	<b>AFD e AFN</b>	<b>13</b>
1.1	Introdução	13
1.2	Execução/Método	13
<b>2</b>	<b>Diagrama de transição e tabela de transições</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>equivalência entre AFD e AFND</b>	<b>19</b>
3.0.1	Perguntas e Respostas - Mínimo de 2 e Máximo de 5	20
3.1	Conclusão	20
	<b>Referências<sup>1</sup></b>	<b>21</b>

---

<sup>1</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

# 1 AFD e AFN

## 1.1 Introdução

O que é um computador? Muito difícil definir devido a sua complexidade, por esse motivo não podemos definir uma teoria matemática exclusiva para eles, uma solução é utilizar um modelo computacional de que um computador idealizado em que apenas os detalhes relevantes são apresentados. Um modelo computacional muito simples são as máquinas de estados finitos ou autômato finito, que define a classe das linguagens regulares. Em paralelo iremos ver também sobre os autômatos não determinístico, ferramenta poderosa da teoria da computação.

## 1.2 Execução/Método

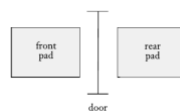
Os autômatos finitos, excelentes modelos para computadores com uma quantidade de memória muito baixa, são muito relevantes, apesar de sua simplicidade.

Exemplo: Uma porta automática possui dois tapetes que são usados para detectar a presença de pessoas, um deles na frontal e outro da posterior. Seu controlador possui dois estados:

OPEN: Porta aberta

Closed: Porta Fechada

Figura 1 – Esquema Porta



Fonte: Slide UFMG

Existem 4 condições de entrada possíveis:

FRONT: alguém está pisando no tapete da frente.

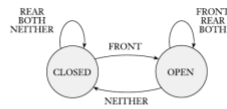
REAR: alguém está pisando no tapete traseiro.

BOTH: pessoas estão pisando em ambos os tapetes.

NETIHER: ninguém está pisando em nenhum tapete.

Figura 2 – Funcionamento do Controlador

## • Diagrama de estados:



## • Tabela de transição:

		input signal			
		NEITHER	FRONT	REAR	BOTH
state	CLOSED	CLOSED	OPEN	CLOSED	CLOSED
	OPEN	CLOSED	OPEN	OPEN	OPEN

&lt;

Fonte:Slide UFMG

O controlador foi modelado como um autômato finito

Um autômato finito determinístico — também chamado máquina de estados finita determinística (AFD) — é uma Máquina de estados finita que aceita ou rejeita cadeias de símbolos gerando um único ramo de computação para cada cadeia de entrada.

Na definição formal um autômato finito (determinístico) é uma 5 – tupla. Definidas pela imagem abaixo.

Figura 3 – Definição Formal

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

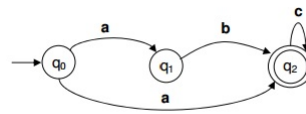
1.  $Q$  é um conjunto finito de **estados**,
2.  $\Sigma$  é um conjunto finito chamado de **alfabeto**,
3.  $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$  é uma **função de transição**,
4.  $q_0 \in Q$  é o **estado inicial**, e
5.  $F \subseteq Q$  é o conjunto de **estados de aceitação** (ou **estados finais**).

Fonte:Slide UFMG

AFDs são utilizados para modelar softwares que validam entradas de usuário tal como um e-mail em um servidor de correio eletrônico, reconhecem exatamente o conjunto de Linguagens Regulares que são, dentre outras coisas, úteis para a realização de Análise lexica e reconhecimento de padrões.

Autômatos Finitos Não-determinísticos, muito similar ao autômatos Finitos determinísticos faz a leitura de uma cadeia de símbolos de entrada e com cada símbolo de entrada tem uma transição para um novo estado, durante o período que todos os símbolos de entradas estejam lidos.

Figura 4 – Exemplo de Autômatos Finitos Não-determinísticos



Fonte: Site UFCG

No autômato acima, existem duas transições de estado possíveis ao ler o símbolo *a* estando o autômato no estado *q0*.

**Aceitação.** Uma cadeia é aceita por um AFN se testando-se todas as transições possíveis à medida que se lê a cadeia, o AFN pára em um estado final após ler toda a cadeia para algum caminho das transições. Assim, o não-determinismo do próximo estado pode ser interpretado como um teste de todas as possibilidades.

**Rejeição.** Uma cadeia é rejeita por um AFN se nenhum caminho de transições leva o autômato a um estado final após ler toda a cadeia.

#### Definição Formal

O AFN é definido como uma 5-upla,  $M = (S, Q, d, q_0, F)$ , onde:

- *S* : alfabeto de símbolos finito de entrada
- *Q*: conjunto finito de estados possíveis para *M*
- *d*: função transição ou função programa definida em  $Q \times S \rightarrow P(Q)$
- *q0*: estado inicial de *M*, sendo  $q_0 \in Q$
- *F*: conjunto de estados finais, tal que  $F \subseteq Q$

$P(Q)$  representa o conjunto das partes de *Q*.

Autômatos Finitos Não-determinísticos, também são definidos por uma 5-tupla, mas a função de transição foi substituída por uma onde é possível que a cadeia vazia como uma entrada possível, assim a função de transição é definida por:

$$d: Q \times (S \cup \epsilon) \rightarrow P(Q)$$

Usando a função de transição de estado, começando no estado inicial especificado, assim determina o próximo estado usando o estado atual e também o símbolo que acabou de ser lido, mas o próximo estado não depende do evento atual, também depende de número arbitrário de entradas de evento subsequentes, não é possível determinar onde a máquina de estados está. Em todo Autômatos Finitos Não-determinísticos, também são encontrados Autômatos Finitos determinísticos que aceite a mesma linguagem, assim possível converter



um Autômatos Finitos Não-determinísticos em Autômatos Finitos determinísticos que já existe, tendo  $2n$  estados onde  $n$  é o número de estados da máquina Autômatos Finitos Não-determinísticos.

## 2 Diagrama de transição e tabela de transições

Em teoria dos autômatos, uma tabela de transição mostra para estado ira se mover uma maquina de estados finitos. A tabela de estados pode ser comparada com uma tabela verdade, pois algumas entradas são o estado corrente e as saídas tem o estado seguinte, junto com outras saídas.

Tabelas Unidimensionais: muito semelhante a tabela verdade, as entradas ficam no lado esquerdo e a saída no lado direito, representando o próximo estado de máquina temos a saída. Na imagem abaixo, um exemplo.

Figura 5 – Tabela Unidimensional

A	B	Estado Atual	Próximo Estado	Saída
0	0	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	1
0	0	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	0
0	1	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	0
0	1	S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	1
1	0	S <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	1
1	0	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	1
1	1	S <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	1
1	1	S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	0

S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> poderiam ser representados como bits 0 e 1.

Fonte:Site Wikifox

Tabela Bidimensionais: são de transição de estado, organizadas de duas formas, que são muito comuns. Uma delas indica eventos e as células na tabela indicam o próximo estado se ocorrer um evento e a ação esteja possivelmente associada. A outra indica o próximo estado e a interseções de linha/coluna contem o evento que leva a um estado particular. Estão representadas nas imagens abaixo respectivamente.

Figura 6 – Tabela Bidimenssional 1

Tabela de transição de estados				
Eventos	$E_1$	$E_2$	...	$E_n$
Estado				
$S_1$	-	$A_y/S_j$	...	-
$S_2$	-	-	...	$A_x/S_i$
...	...	...	...	...
$S_m$	$A_z/S_k$	-	...	-

(S: estado, E: evento, A: ação, -: transição ilegal)

Fonte:Site Wikifox

Figura 7 – Tabela Bidimenssional 2

Tabela de transição de estados				
próximo	$S_1$	$S_2$	...	$S_m$
atual				
$S_1$	-	-	...	$A_x/E_i$
$S_2$	$A_y/E_j$	-	...	-
...	...	...	...	...
$S_m$	-	$A_z/E_k$	...	-

(S: estado, E: evento, A: ação, -: transição impossível)

Fonte:Site Wikifox

Diagrama de transição : são grafos orientados não – ordenados, são rotulados no vértices com nome dos símbolo e nos arcos com símbolos do alfabeto de entrada, assim os círculos podem representar os estados e os arcos as transições.

### 3 equivalência entre AFD e AFND

Teorema: Equivalência entre AFD e AFN

A classe dos AFD é equivalente à classe dos AFN.

- A prova consiste em mostrar que para todo AFN  $M$  é possível construir um AFD  $M'$  que realiza o mesmo processamento, ou seja,  $M'$  simula  $M$ .

- A demonstração apresenta um algoritmo para converter um AFN qualquer em um AFD equivalente.

- A idéia central do algoritmo é a construção de estados de  $M'$  que simulem as diversas combinações de estados de  $M$ .

- A transformação contrária - construir um AFN a partir de um AFD - não necessita ser demonstrada, uma vez que decorre trivialmente das definições

(Por quê? Porque a função programa do AFN contém a função programa ' do AFD).

Seja  $M = (Q, q_0, F)$  um AFN qualquer e seja  $M' = (Q', q'_0, F')$  um AFD construído a partir de  $M$  como se segue:  $Q'$  : Conjunto de todas as combinações, sem repetições, de estados de  $Q$ , as quais são denotadas

por  $\langle q_1 q_2 \dots q_n \rangle$  onde  $q_i \in Q$  para  $i$  em  $1,$

$2, \dots, n$ . Note-se que a ordem dos elementos não identifica mais combinações.

Por exemplo:  $\langle quqv \rangle = \langle qvqu \rangle$ .

' : Tal que ' $(\langle q_1 \dots q_n \rangle, a) = \langle p_1 \dots p_m \rangle$  sse  $(q_1, \dots, q_n, a) = p_1, \dots, p_m$ , ou

seja, um estado de  $M'$  representa uma imagem de todos os estados alternativos de  $M$ .

$\langle q_0 \rangle$ : Estado inicial.

$F'$  : Conjunto de todos os estados  $\langle q_1 q_2 \dots q_n \rangle \in Q'$  tal que alguma componente  $q_i \in F$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ . PROVA:

A demonstração de que o AFD  $M'$  simula o processamento do AFN  $M$  é dada por indução sobre o tamanho da palavra. Deve-se provar que, para uma palavra qualquer  $w$  de

$$'(\langle q_0 \rangle, w) = \langle q_1 \dots q_n \rangle \text{ sse } (q_0, w) = q_1, \dots, q_n$$

### 3.0.1 Perguntas e Respostas - Mínimo de 2 e Máximo de 5

Questão 41

Seja um Autômato Finito Não Determinístico (AFN) com 6 estados. Aplicando-se o algoritmo de conversão de um AFN para um Autômato Finito Determinístico (AFD), em quantos estados, no máximo, resultaria o AFD considerando-se os estados inúteis?

- (A) 12
- (B) 36
- (C) 64
- (D) 1024
- (E) 46656

3) Determine autômatos finitos não determinísticos que aceitem as linguagens cujas expressões regulares são dadas abaixo:

- (a)  $(10 + 001 + 010)^*$
- (b)  $(1 + 0)^* 00101$

## 3.1 Conclusão

## Referências<sup>1</sup>

AUTOMATOS FINITOS, Abrande, 2022. Disponível em: <https://abandre.github.io/lfa/Aula4.p>  
Acesso em: 09,outubro de 2022

PESSOA, Julie Pessoa. Autômatos Finitos não Determinísticos (AFN) e Determinísticos (AFD). P@T NEWS, 2022. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/pet/jornal/junho2014/ma>  
Acesso em: 08 de outubro de 2022.

Automatos Finitos e Nao-determinismo. Homepages.dcc, 2022 Disponível em:  
[https://homepages.dcc.ufmg.br/msalvim/courses/ftc/Aula1.1\\_AFDs – AFNs](https://homepages.dcc.ufmg.br/msalvim/courses/ftc/Aula1.1_AFDs-AFNs)

4. TABELA DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS, Wikfox, 2022. Disponível em:  
[https://www.wikifox.org/pt/wiki/Tabela\\_de\\_transi5](https://www.wikifox.org/pt/wiki/Tabela_de_transi5). Acesso em : 09, outubro de 2022

AUTÔMATO FINITO NÃO DETERMINISTICO. Cin UFPE, 2022. Disponível  
em: [https://www.cin.ufpe.br/gcb/tc/tc\\_automato\\_finitos\\_nao\\_deterministico.pdf](https://www.cin.ufpe.br/gcb/tc/tc_automato_finitos_nao_deterministico.pdf) Acesso em :  
09 de outubro de 2022

---

<sup>1</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.