

## 1. Introdução

A Máquina de Turing é um dispositivo teórico conhecido como *máquina universal*, que foi concebido pelo matemático britânico Alan Turing (1912-1954), muitos anos antes de existirem os modernos computadores digitais. Num sentido preciso, é um modelo abstrato de um computador, que se restringe apenas aos aspectos lógicos do seu funcionamento (memória, estados e transições) e não à sua implementação física. Numa máquina de Turing pode-se modelar qualquer computador digital.

Uma máquina de Turing consiste em:

1. *Fita*: utilizada para leitura, rascunho e para escrita.
2. *Cabeçote*: mostra a posição atual da fita e se move para a direita e esquerda.
3. *Função de Transição*: função que movimenta a máquina a partir de um símbolo, gerando um novo símbolo, indo para um estado e movendo o cabeçote para a direita ou para a esquerda.
4. *Representação Gráfica*:



X: Símbolo lido da fita

Y: Símbolo escrito na fita

R: Sentido do movimento (Direita/Esquerda)

\*A fita é limitada à esquerda pelo marcador de início e infinita à direita, contendo o símbolo branco ao final da palavra.

Tipos de MT:

- Reconhedora: responde se uma palavra pertence ou não à linguagem.
- Transdutora: é gerada uma palavra na própria fita que é a saída da MT.

Este relatório apresenta uma implementação de uma Máquina de Turing Reconhedora e Transdutora.

## 2. Objetivo

Esta implementação foi feita para um trabalho proposto na matéria de Linguagens Formais, Autômatos e Computabilidade.

A máquina tem a função de receber palavras e dizer se pertencem ou não à linguagem informada, ou mostrar as modificações feitas nas mesmas.

## 3. A Máquina de Turing

A máquina foi implementada de forma intuitiva, contendo campos para cada um dos itens da descrição formal.

Máquina de Turing - LFA

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b,c,d

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S0,a -> S1,A,D Add Transição

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba Testar

© Rafael Francisco Ferreira

Para utilizá-la, basta preencher os campos e adicionar a função de transição, feito isso, é só digitar uma palavra e clicar no botão “Testar”.

Caso haja um erro de digitação nos campos ou nas transições, um alerta poderá ser gerado informando o que o causou.

Se o usuário cometer um equívoco e adicionar uma transição com algum parâmetro errado, basta clicar em “Reset Transições”.

**Máquina de Turing - LFA**

**Máquina de Turing**

**Descrição Formal:**

Estados:

Alfabeto:

Estado Inicial:

Estados Finais:

Alfabeto Auxiliar:

Marcador de Início:

Símbolo Branco:

**Função de Transição:**

S0,a	->	S1,A,D
------	----	--------

**Testes:**

Palavra:

```

ERRO!
Um ou mais campos da descrição
não foram preenchidos!
Corrija e tente novamente.

ERRO!
Estado inicial não
pertence ao conjunto
de estados!
Corrija e tente novamente.
  
```

© Rafael Francisco Ferreira

As mensagens de erro e alertas são mostrados na tela de testes sempre que o usuário tenta desempenhar uma ação e há algo de errado.

Se a máquina encontrar um erro durante o processamento da palavra, como um estado que não tem transição com a letra lida da fita, ela informará o erro, dizendo em qual estado parou e informar que a palavra não pertence à linguagem descrita.

Os campos são *case-sensitive*, ou seja, diferenciam letras maiúsculas de minúsculas. Deve-se estar atento ao adicionar alfabetos e nomear estados.

Para um melhor funcionamento da máquina, utilize sempre a vírgula para separar os nomes e símbolos dos alfabetos e conjuntos, sem espaços (!).

Ao abrir o programa, exemplos estarão pré-definidos nos campos de digitação. Caso queira mudar os símbolos, estes são escolha do usuário, mas lembre-se de manter a mesma formatação dos exemplos. Se algum símbolo digitado violar alguma regra ou condição, a máquina informará o erro.



$$L = \{w \in \{a,b\}^* \mid |w|_a = |w|_b\}$$

[illegible]

$$L = \{w \in \{a,b\}^* \mid |w|_a = 2 \cdot |w|_b\}$$

Máquina de Turing - LFA

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: 2,S3,S4,S5,S6,S7,S8

Alfabeto: a,b

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S8

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Testes:

Palavra: aababa

Testar

Função de Transição:

S7,< -> S8,<,D

Add Transição

(S5,B)->(S5,B,E)

(S5,<)->(S0,<,D)

(S0,&)->(S7,&,E)

(S7,A)->(S7,A,E)

(S7,B)->(S7,B,E)

(S7,<)->(S8,<,D)

Reset Transições

Palavra pertence à linguagem descrita.

© Rafael Francisco Ferreira

$$L = \{w \in \{a,b\}^* / w \text{ é palíndromo}\}$$
[illegible]

## Transdutoras

**L = Recebe um número binário e o incrementa em uma unidade:**

[illegible]



**L = Duplica qualquer palavra com a e b seguida dela mesma invertida (ww')**

Máquina de Turing - LFA

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: 1,S2,S3,S4,S5,S6,S7

Alfabeto: a,b

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S7

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Testes:

Palavra: babaab

Testar

Função de Transição:

S6,<->S7,<,D

Add Transição

(S5,A)->(S5,a,D)

(S5,B)->(S5,b,D)

(S5,&)->(S6,&,E)

(S6,a)->(S6,a,E)

(S6,b)->(S6,b,E)

(S6,<)->(S7,<,D)

Palavra pertence à linguagem descrita.

Reset Transições

© Rafael Francisco Ferreira

**L = Recebe uma palavra w com a e b e gera como saída w#qtdea#qtdeb**

[illegible]

## Exemplos de Tratamento de Erro

Caso o usuário esqueça um campo em branco:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application window. The 'Descrição Formal' section has the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: (empty); Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S3,a -> S1,A,D. The 'Testes' section has the word 'aaaba' entered. The output area on the right displays the error message: 'ERRO! Um ou mais campos da descrição não foram preenchidos! Corrija e tente novamente.'

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto:

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S3,a -> S1,A,D

Add Transição

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba

Testar

ERRO!  
Um ou mais campos da descrição  
não foram preenchidos!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

Caso o estado inicial não pertença ao conjunto de estados:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application window. The 'Descrição Formal' section has the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b; Estado Inicial: S4; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,a -> S1,A,D. The 'Testes' section has the word 'aaaba' entered. The output area on the right displays the error message: 'ERRO! Estado inicial não pertence ao conjunto de estados! Corrija e tente novamente.'

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b

Estado Inicial: S4

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S0,a -> S1,A,D

Add Transição

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba

Testar

ERRO!  
Estado inicial não  
pertence ao conjunto  
de estados!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

Caso um ou mais estados finais não pertençam ao conjunto de estados:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application window. The 'Descrição Formal' section contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S4; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,a -> S1,A,D. The 'Testes' section shows the word 'aaaba' and a 'Testar' button. The output area on the right displays the following error message in green text on a black background: 'ERRO! Um ou mais estados finais não pertencem ao conjunto de estados! Corrija e tente novamente.'

Caso o usuário esqueça de adicionar o marcador de início ou símbolo branco ao alfabeto auxiliar:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application window. The 'Descrição Formal' section contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,a -> S1,A,D. The 'Testes' section shows the word 'aaaba' and a 'Testar' button. The output area on the right displays the following error message in green text on a black background: 'ERRO! Marcador de início ou símbolo Branco não foi encontrado no alfabeto auxiliar! Corrija e tente novamente.'

Caso a transição contenha um estado que não pertence ao conjunto de estados:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing - LFA' application window. The 'Descrição Formal' section on the left contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S7,a -> S1,A,D. The 'Testes' section on the right has the word 'aaaba' entered in the 'Palavra' field. The output area on the right displays a green error message: 'ERRO! A transição contém um estado que não pertence ao conjunto de estados! Corrija e tente novamente.' The bottom right corner of the window shows the copyright notice '© Rafael Francisco Ferreira'.

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S7,a -> S1,A,D

Add Transição

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba

Testar

ERRO!  
A transição  
contém um estado que  
não pertence ao conjunto  
de estados!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

Caso a transição contenha um símbolo que não pertence aos alfabetos:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing - LFA' application window. The 'Descrição Formal' section on the left contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b,c,d; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,X -> S1,A,D. The 'Testes' section on the right has the word 'aaaba' entered in the 'Palavra' field. The output area on the right displays a green error message: 'ERRO! A transição contém um símbolo que não pertence a nenhum dos alfabetos! Corrija e tente novamente.' The bottom right corner of the window shows the copyright notice '© Rafael Francisco Ferreira'.

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b,c,d

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S0,X -> S1,A,D

Add Transição

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba

Testar

ERRO!  
A transição contém  
um símbolo que não pertence  
a nenhum dos alfabetos!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

Caso o usuário tente criar duas transições partindo do mesmo estado com o mesmo símbolo:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application interface. On the left, under 'Descrição Formal', the fields are: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b,c,d; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. Under 'Função de Transição', the input shows 'S0,a' and 'S1,A,D' with an 'Add Transição' button. Below this, a text box contains '(S0,a)->(S1,A,D)'. On the right, under 'Testes', the 'Palavra' field contains 'aaaba' and a 'Testar' button. The output window on the right displays a green error message: 'ERRO! Já existe uma transição deste estado com este símbolo! Esta máquina não suporta duas transições partindo do mesmo estado com o mesmo símbolo! Corrija e tente novamente.' At the bottom, there is a 'Reset Transições' button and a copyright notice '© Rafael Francisco Ferreira'.

Se o usuário tentar criar uma transição que alteraria o marcador de início:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application interface with the same 'Descrição Formal' settings as the previous image. Under 'Função de Transição', the input now shows 'S0,<' and 'S1,A,D' with an 'Add Transição' button. The text box below contains '(S0,a)->(S1,A,D)'. The 'Testes' section remains the same with 'Palavra: aaaba' and a 'Testar' button. The output window on the right displays a green error message: 'ERRO! Marcador de inicio não pode ser alterado na fita! Corrija e tente novamente.' At the bottom, there is a 'Reset Transições' button and a copyright notice '© Rafael Francisco Ferreira'.

Se o usuário tentar criar uma transição que iria para a esquerda do marcador de início:

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application interface. The 'Descrição Formal' section contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b,c,d; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,< -> S1,A,E. The 'Testes' section shows the word 'aaaba' and a 'Testar' button. The output area on the right displays the error message: 'ERRO! Não se pode ir para a esquerda (E) do marcador de início! Corrija e tente novamente.'

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b,c,d

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S0,< -> S1,A,E Add Transição

(S0,a)->(S1,A,D)

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba Testar

ERRO!  
Não se pode ir para a esquerda (E) do marcador de início!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

Caso o símbolo de direção esteja fora dos padrões:  
(Estabelecidos como *D* para direita e *E* para esquerda.)

The screenshot shows the 'Máquina de Turing' application interface. The 'Descrição Formal' section contains the following fields: Estados: S0,S1,S2,S3; Alfabeto: a,b,c,d; Estado Inicial: S0; Estados Finais: S3; Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&; Marcador de Início: <; Símbolo Branco: &. The 'Função de Transição' section shows a transition rule: S0,< -> S1,A,d. The 'Testes' section shows the word 'aaaba' and a 'Testar' button. The output area on the right displays the error message: 'ERRO! Utilize apenas D para direita ou E para esquerda! Corrija e tente novamente.'

Máquina de Turing

Descrição Formal:

Estados: S0,S1,S2,S3

Alfabeto: a,b,c,d

Estado Inicial: S0

Estados Finais: S3

Alfabeto Auxiliar: A,B,<,&

Marcador de Início: <

Símbolo Branco: &

Função de Transição:

S0,< -> S1,A,d Add Transição

(S0,a)->(S1,A,D)

Reset Transições

Testes:

Palavra: aaaba Testar

ERRO!  
Utilize apenas D para direita ou E para esquerda!  
Corrija e tente novamente.

© Rafael Francisco Ferreira

[illegible]



## **5. Decisões de Projeto**

A primeira decisão importante foi a da linguagem de programação. A linguagem escolhida foi JAVA, levando em consideração, principalmente, que a mesma oferece uma grande variedade de opções para se trabalhar de forma prática com estruturas de dados, e que oferece a orientação a objetos.

As estruturas de dados utilizadas foram, em sua maioria, vetores, que armazenam informações como: alfabeto, alfabeto auxiliar, nomes dos estados, estados finais, palavra, partes das transições e etc. As outras estruturas utilizadas foram as Listas, que armazenam dados contidos em forma de objetos, tais como as Transições e os Estados, e também auxiliaram no armazenamento de Strings para tratamentos de erros e para consultas condicionais.

Os objetos foram criados para facilitar a implementação e organizar melhor o código. São objetos: MT, Fita, Transições, Estados. Cada objeto armazena suas respectivas informações privadas e públicas em estruturas de dados e variáveis locais. O objeto MT comanda todo o funcionamento da Máquina de Turing, sendo instanciado no momento que o usuário clica no botão “Testar”.

A interface com o usuário foi desenvolvida utilizando formulário java (JForm), visando facilitar o uso e também facilitar a captação dos dados.

Todos os erros foram tratados antes de se criar a máquina, exceto aqueles que a própria máquina deve informar, para evitar possíveis travamentos da máquina por erros de digitação ou campos mal preenchidos pelo usuário.

## **6. Conclusão**

Este relatório apresentou uma implementação de uma Máquina de Turing Reconhedora e Transdutora.

Como se nota nos exemplos, a máquina proposta foi testada com as mais diversas linguagens e retornou os resultados corretos em todos os testes feitos.

Além dos exemplos apresentados, duas listas de linguagens foram testadas mais de uma vez na máquina durante o desenvolvimento, e a mesma não falhou em nenhum dos testes.

Conclui-se, então, que a máquina implementada é eficaz no reconhecimento e transformação das palavras nela inseridas e testadas.

## **7. Referências**

Vieira, Newton José.; (2006) “Introdução aos Fundamentos da Computação”,  
Pioneira Thomson Learning.