

# Projeto: Implementação de uma Máquina de Turing Universal (MTU)

## Notas sobre a Implementação

- Inicialmente, a implementação havia sido feita utilizando uma máquina de Turing com múltiplas fitas.
- A implementação atual utiliza uma fita única e funciona conforme descrito no tópico "**10 - A Fita**".
- Na implementação anterior também havia um erro grave em que a MTU não retornava a fita ao início após realizar uma transição. Isso foi corrigido na versão atual.
- A implementação atual foi executada utilizando entradas diversas a fim de esgotar as possibilidades de execução com base no escopo do trabalho. Algumas dessas entradas podem ser encontradas em "**13 - Exemplos de Uso**".
- A máquina se apresentou robusta, tendo o comportamento esperado diante de todas as situações a que foi submetida.

---

## Descrição Detalhada do Projeto

### 1. Objetivo do Projeto

Implementar uma Máquina de Turing Universal (MTU) determinística. A MTU recebe como entrada a descrição de outra Máquina de Turing  $M$  e uma palavra  $w$ , e então simula a execução de  $M$  com a entrada  $w$ .

### 2. Codificação da Entrada para a MTU

A entrada completa para a MTU consiste na função de transição da máquina  $M$  (codificada como uma sequência de transições), seguida por um separador  $\$$  e, por fim, a palavra de entrada  $w$  para a máquina  $M$ .

### 3. Codificação dos Estados

- Cada estado é representado pelo símbolo  $q$  seguido por um número em **notação unária** (por exemplo,  $q1$ ,  $q11$ ,  $q111$ ).
- O **estado inicial** é, especificamente,  $q1$ .
- Há um **único estado final**, designado por  $qf$ , a partir do qual nenhuma transição se origina.

### 4. Codificação dos Símbolos da Fita

- Símbolos genéricos são representados pelo símbolo  $a$  seguido por um número em **notação unária** (por exemplo,  $a1$ ,  $a11$ ).
- O símbolo **branco** é representado especificamente por  $b$ .

## 5. Definição da Máquina de Turing M

A máquina M a ser simulada é uma Máquina de Turing determinística com uma fita finita à esquerda e infinita à direita. Seus componentes são definidos da seguinte forma:

- **K (Estados):** O conjunto de estados, codificados como descrito no item 3.
- **$\Sigma$  (Símbolos):** O conjunto de símbolos da fita, codificados como descrito no item 4.
- **$\delta$  (Função de Transição):** Definida por uma sequência de transições, cada uma seguida por um separador # (exceto a última).
- **s (Estado Inicial):** O estado **q1**.
- **H (Estado Final):** O conjunto contendo apenas o estado **qf**.

## 6. Formato da Transição ( $\delta$ )

Cada transição da máquina M é definida por uma tupla de 5 elementos na seguinte ordem: **estado origem; símbolo lido; símbolo escrito; movimento; estado destino**.

- O **Movimento** do cabeçote é representado por um único símbolo do conjunto {**R**, **L**}, onde R denota movimento para a direita e L para a esquerda.

## 7. Condições de Parada

A simulação da máquina M pela MTU irá parar se uma das seguintes condições for atendida:

- A máquina M atinge seu único estado final, **qf**.
- A máquina M atinge um estado (não-final) a partir do qual não existe nenhuma transição definida para o símbolo que está sendo lido na fita.

## 8. Convenção de Saída (Aceitação e Rejeição)

O resultado da computação é indicado pela MTU na fita após a parada de M.

- **Aceitação:** Se M para no estado final **qf**, a MTU deve escrever a constante **#A** na fita, a partir da primeira célula em branco à direita da palavra.
- **Rejeição:** Se M para por não haver uma transição possível, a MTU deve escrever **#R** na mesma posição.

## 9. Representação da String de Entrada para a MTU

A string completa a ser fornecida para a MTU é a justaposição da representação de todas as suas transições (separadas por #), seguida pelo separador \$ e a palavra de entrada **w** (uma sequência de símbolos).

## 10. A Fita

A fita da MTU foi codificada de forma a simular 4 fitas, seguindo o seguinte formato:

(Entrada da MTU)&(Estado Atual)%(Símbolo Lido)@(Símbolos Escritos Até o Momento)

Os parênteses foram utilizados apenas para fins ilustrativos e não são utilizados na execução desta MTU.

Por exemplo:

q1a1a11Rq11#q11a1a111Lqf#q11a1a11Rq1\$a1A11&q11%a11@a11

- &q11: indica que o estado atual é o 'q11'.

- %a11: indica que o símbolo a ser lido é o `a11`.
- @a11: indica que a execução da máquina até o momento, escreveu `a11` na fita.

## 11. Funcionamento da Máquina

1. O estado atual (e inicial) é definido como **q1**.
2. O primeiro símbolo da palavra é lido (primeiro símbolo após **\$**) e escrito após **%**.
3. A máquina verifica o estado atual.
4. A máquina verifica se a partir do estado atual existe uma transição de saída.
5. Se não houver, limpa a fita da escrita de todas as fitas simuladas e, a partir do primeiro caractere em branco após a palavra **w**, escreve **#R** e transita ao único estado final **qf**.
6. Se houver, verifica se essa transição de saída a partir do estado atual ocorre mediante a leitura do símbolo lido (símbolo sobre o qual está o cabeçote).
7. Se não ocorrer, avança para a próxima transição.
8. Se não houverem mais transições a serem lidas, limpa a fita da escrita de todas as fitas simuladas e, a partir do primeiro caractere em branco após a palavra **w**, escreve **#R** e transita ao único estado final **qf**.
9. Se ocorrer, verifica o símbolo a ser escrito e o escreve após **@**.
10. Verifica e executa o movimento do cabeçote (**R** ou **L**).
  - Se for **R** e o cabeçote estiver no último símbolo da palavra **w**, ele permanece na mesma posição.
  - Se for **L** e o cabeçote estiver no primeiro símbolo da palavra **w**, ele permanece na mesma posição.
11. Verifica o estado de destino, escreve-o após **&**, definindo-o como o novo estado atual.
12. Se o estado atual for **qf**, limpa as fitas simuladas, escreve **#A** após a palavra **w** e para.
13. Se o estado atual não for **qf**, retorna ao passo 3.

## 12. Testes Realizados

1. Palavra vazia.
2. Palavra sabidamente aceita.
3. Palavra a ser rejeitada.
4. Testes de funcionamento da máquina:
  - a. Ausência de transição a partir do estado inicial.
  - b. Escrita e leitura de símbolos de tamanhos diferentes.

\* Exemplo 1: Transição de **q1** para **q111**, escrevendo a informação sem sobrescrever dados.

\* Exemplo 2: Transição de **q111** para **q1**, escrevendo a informação sem deixar espaços em branco.

## 13. Exemplos de Uso

1. **q1a1a11Rq11#q11a11a111Lqf\$**: Palavra vazia (Rejeitada).
2. **q1a1a11Rq11#q11a1a11Lq111#q11a1a11Rq1\$a1**: Para em estado não final sem transição (Rejeitada).
3. **q1a1a11Rq11#q11a11a111Lqf#q11a1a11Rq1\$a1a11**: Para em estado final (Aceita).

4.  $q_1a_1a_{11}Rq_1\#q_1a_1a_{11}Rq_{11}\#q_{11}a_{11}a_{111}Lqf\$a_{11}$ : Mesma máquina do exemplo 3, com transições em ordem diferente (Aceita).
5.  $q_{11}a_1a_{11}Lqf\#q_{11}a_{11}a_{111}Rq_1\#q_{111}a_1a_1Rq_{11}\$a_{11}$ : Sem transição a partir do estado inicial (Rejeitada).