

# Teoria da Computação

2023/2 - Trabalho da disciplina

## Enunciado

Implemente, em C ou em C++, um simulador de Máquinas de Turing (determinísticas e não-determinísticas).

A primeira linha de entrada conterá o número  $N$  de estados e  $T$  de transições. Considere que os estados são  $q_0, q_1, \dots, q_{N-1}$ , e que  $q_0$  é o estado inicial.

As próximas  $T$  linhas descrevem as transições. Cada transição é descrita por uma linha no formato `i X/Y,C j`, indicando uma transição de  $q_i$  para  $q_j$  que troca o símbolo  $X$  pelo símbolo  $Y$  e move cabeçote para a esquerda (se  $C=L$ ) ou para a direita (se  $C=R$ ).

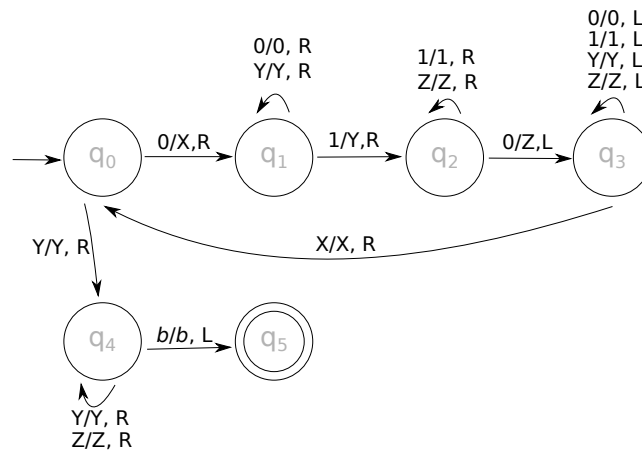
A próxima linha contém o número  $F$  de estados finais, e a linha seguinte contém  $F$  inteiros  $f$  indicando que  $q_f$  é estado final.

Após ler a descrição da Máquina, seu programa deve ler uma sequência de palavras. Para cada palavra  $w$  lida, determine se a Máquina aceita ou rejeita  $w$ . Caso a palavra seja aceita, imprima `w aceita: [FF]`, onde `[FF]` indica a fita da Máquina no final de sua execução. Caso a palavra seja rejeitada, imprima `w rejeitada..`

A entrada termina com `w=*`.

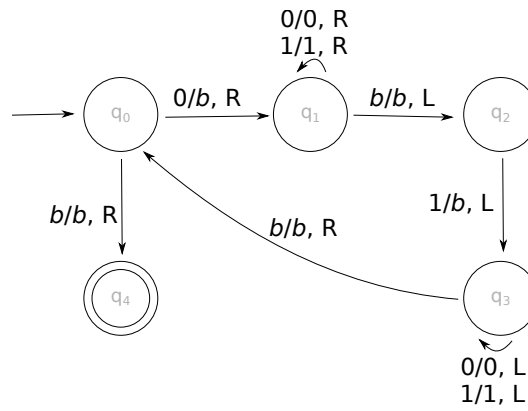
Em toda a implementação, considere que o caractere `b` representa o símbolo especial em branco  $b$ , e que tanto a entrada  $w$  quanto a fita podem conter quaisquer outros caracteres da tabela ASCII exceto espaços. Ao imprimir `[FF]` para as palavras aceitas pela Máquina, *não* imprima os (teoricamente infinitos) símbolos  $b$  após o último símbolo diferente de  $b$  da fita.

Como exemplo, a seguinte Máquina de Turing reconhece a linguagem  $\{0^n 1^n 0^n \mid n > 0\}$ :



Exemplo de entrada	Saida esperada
6 16	010 aceita: XYZ
0 0/X,R 1	001100 aceita: XXYYZZ
1 0/0,R 1	0100 rejeitada.
1 Y/Y,R 1	020 rejeitada.
1 1/Y,R 2	10100 rejeitada.
2 1/1,R 2	000111000 aceita: XXXYYYZZZ
2 Z/Z,R 2	
2 0/Z,L 3	
3 0/0,L 3	
3 1/1,L 3	
3 Y/Y,L 3	
3 Z/Z,L 3	
3 X/X,R 0	
0 Y/Y,R 4	
4 Y/Y,R 4	
4 Z/Z,R 4	
4 b/b,L 5	
1	
5	
010	
001100	
0100	
020	
10100	
000111000	
*	

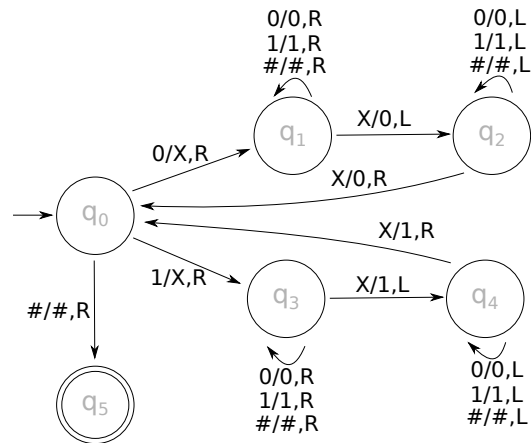
Como exemplo, a seguinte Máquina de Turing reconhece a linguagem  $\{0^n 1^n \mid n \geq 0\}$ .



Exemplo de entrada	Saida esperada
5 9	01 aceita:
0 0/b,R 1	0011 aceita:
1 0/0,R 1	1100 rejeitada.
1 1/1,R 1	011 rejeitada.
1 b/b,L 2	000111 aceita:
2 1/b,L 3	
3 0/0,L 3	
3 1/1,L 3	
3 b/b,R 0	
0 b/b,R 4	
1	
4	
01	
0011	
1100	
011	
000111	
*	

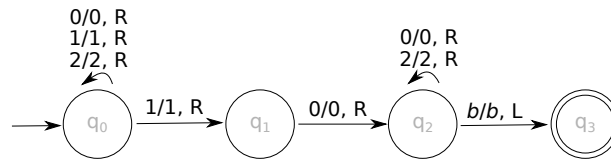
Note que, por não imprimir os (teoricamente infinitos) símbolos  $b$  após o último símbolo diferente de  $b$ , a fita acaba não sendo impressa caso ela fique *inteiramente* em branco após o processamento da Máquina.

Como exemplo, a seguinte Máquina de Turing transforma uma fita no formato  $w\#X^{|w|}$  em  $w\#w$  (“máquina de cópia”):



Exemplo de entrada	Saida esperada
6 19 0 0/X,R 1 1 0/0,R 1 1 1/1,R 1 1 #/#,R 1 1 X/0,L 2 2 0/0,L 2 2 1/1,L 2 2 #/#,L 2 2 X/0,R 0 0 1/X,R 3 3 0/0,R 3 3 1/1,R 3 3 #/#,R 3 3 X/1,L 4 4 0/0,L 4 4 1/1,L 4 4 #/#,L 4 4 X/1,R 0 0 #/#,R 5 1 5 0011#XXXX 101010#XXXXXX *	0011#XXXX aceita: 0011#0011 101010#XXXXXX aceita: 101010#101010

Como exemplo, a seguinte Máquina de Turing reconhece a linguagem  $\{w \in \{0, 1, 2\}^* \mid \text{o último } 1 \text{ é seguido por um } 0\}$ . Note que a máquina é não-determinística:



Exemplo de entrada	Saida esperada
4 8	01102102 aceita: 01102102
0 0/0,R 0	111111120 rejeitada.
0 1/1,R 0	1111102 aceita: 1111102
0 2/2,R 0	
0 1/1,R 1	
1 0/0,R 2	
2 0/0,R 2	
2 2/2,R 2	
2 b/b,L 3	
1	
3	
01102102	
111111120	
1111102	
*	

## Observações

- A máquina dada terá no máximo 1000 estados e no máximo 1000 transições;
- A máquina dada não usará mais do que 1000 células da fita em todo seu processamento;
- A palavra vazia ( $\varepsilon$ ) nunca será dada como entrada;
- Você pode imprimir a resposta de uma dada palavra de entrada logo depois de lê-la (isto é, ler uma palavra, processar e imprimir sua resposta; ler a próxima palavra, processar e imprimir sua resposta; e assim por diante, até ler \*). Não é necessário ler todas as palavras de entrada para só então começar a imprimir as respostas;
- Por ser um modelo de computação, uma Máquina de Turing pode entrar em *loop* infinito, da mesma forma que programas comuns. É permitido que o seu programa não funcione (entre *loop* infinito ou gere um erro em tempo de execução) se (mas apenas se) o usuário descrever uma MT que entra em *loop* infinito.

## Orientações

- O trabalho pode ser feito por equipes de *no máximo* 2 (dois) estudantes;
- Submeta, via *Moodle*, um pacote **zip** ou **tar.gz** contendo todo o código-fonte necessário para compilar e executar sua solução, além de um arquivo de texto (txt) onde conste:
  - O nome de todos os integrantes da equipe;
  - Toda informação que a equipe julgar relevante para a correção (como *bugs* conhecidos, detalhes de implementação, escolhas de projeto, etc.)

- Comente adequadamente seus códigos para facilitar a correção;
- Atenção: a correção será parcialmente automatizada, e a saída do programa será testada com outras entradas além das fornecidas como exemplo. *Siga **fielmente** o formato de entrada e de saída dado nos exemplos*, sob pena de grande redução da nota;
- Certifique-se que seu programa compila e funciona antes de submetê-lo;
- Haverá correção com nota parcial. Se não puder entregar o trabalho por completo, entregue-o parcialmente com o que puder fazer, descrevendo no arquivo de texto o que faltou;
- Serão dados 10 pontos extras (e portanto o trabalho poderá valer 110 pontos ao todo) se seu programa imprimir também a computação das palavras aceitas pela Máquina, no formato dado nos exemplos na próxima seção;
- O trabalho deve ser entregue até **5 de Dezembro de 2023, 23:59**, apenas via *Moodle*. Trabalhos entregues por outros meios ou fora do prazo não serão aceitos. É suficiente que o trabalho seja submetido por apenas um estudante da equipe;
- Trabalhos detectados como cópia, plágio (de colegas ou da internet) ou comprados receberão **todos** a nota 0 (**ZERO**) e estarão sujeitos a abertura de Processo Administrativo Disciplinar Discente.

## Exemplos com a nota extra

$\{0^n 1^n 0^n \mid n > 0\}$

Exemplo de entrada	Saida esperada
6 16	010 aceita: XYZ
0 0/X,R 1	(q0, (0)10)
1 0/0,R 1	(q1, X(1)0)
1 Y/Y,R 1	(q2, XY(0))
1 1/Y,R 2	(q3, X(Y)Z)
2 1/1,R 2	(q3, (X)YZ)
2 Z/Z,R 2	(q0, X(Y)Z)
2 0/Z,L 3	(q4, XY(Z))
3 0/0,L 3	(q4, XYZ(b))
3 1/1,L 3	(q5, XY(Z))
3 Y/Y,L 3	
3 Z/Z,L 3	001100 aceita: XXYYZZ
3 X/X,R 0	(q0, (0)01100)
0 Y/Y,R 4	(q1, X(0)1100)
4 Y/Y,R 4	(q1, X0(1)100)
4 Z/Z,R 4	(q2, X0Y(1)00)
4 b/b,L 5	(q2, X0Y1(0)0)
1	(q3, X0Y(1)Z0)
5	(q3, X0(Y)1Z0)
010	(q3, X(0)Y1Z0)
001100	(q3, (X)0Y1Z0)
0100	(q0, X(0)Y1Z0)
*	(q1, XX(Y)1Z0)
	(q1, XXY(1)Z0)
	(q2, XXY(Y)Z0)
	(q2, XXYZ(0))
	(q3, XXY(Y)Z)
	(q3, XXY(Y)ZZ)
	(q3, XX(Y)YZZ)
	(q3, X(X)YYZZ)
	(q0, XX(Y)YZZ)
	(q4, XXY(Y)ZZ)
	(q4, XXY(Z)Z)
	(q4, XXYZ(Z))
	(q4, XXYZZ(b))
	(q5, XXYZ(Z))
	0100 rejeitada.

Note que um símbolo em branco **b** é impresso quando o cabeçote está sobre ele.

$$\{0^n 1^n \mid n \geq 0\}$$

Exemplo de entrada	Saida esperada
5 9 0 0/b,R 1 1 0/0,R 1 1 1/1,R 1 1 b/b,L 2 2 1/b,L 3 3 0/0,L 3 3 1/1,L 3 3 b/b,R 0 0 b/b,R 4 1 4 01 0011 1100 *	01 aceita: (q0, (0)1) (q1, b(1)) (q1, b1(b)) (q2, b(1)) (q3, (b)) (q0, b(b)) (q4, bb(b))  0011 aceita: (q0, (0)011) (q1, b(0)11) (q1, b0(1)1) (q1, b01(1)) (q1, b011(b)) (q2, b01(1)) (q3, b0(1)) (q3, b(0)1) (q3, (b)01) (q0, b(0)1) (q1, bb(1)) (q1, bb1(b)) (q2, bb(1)) (q3, b(b)) (q0, bb(b)) (q4, bbb(b))  1100 rejeitada.

Ao imprimir a computação neste caso, mesmo com a fita inteiramente em branco ao final do processamento, alguns **b** são impressos para indicar a posição do cabeçote.



$w\#X^{|w|} \rightarrow w\#w$  (“máquina de cópia”)

Exemplo de entrada	Saida esperada
6 19 0 0/X,R 1 1 0/0,R 1 1 1/1,R 1 1 #/#,R 1 1 X/0,L 2 2 0/0,L 2 2 1/1,L 2 2 #/#,L 2 2 X/0,R 0 0 1/X,R 3 3 0/0,R 3 3 1/1,R 3 3 #/#,R 3 3 X/1,L 4 4 0/0,L 4 4 1/1,L 4 4 #/#,L 4 4 X/1,R 0 0 #/#,R 5 1 5 0011#XXXX *	0011#XXXX aceita: 0011#0011 (q0, (0)011#XXXX) (q1, X(0)11#XXXX) (q1, X0(1)1#XXXX) (q1, X01(1)#XXXX) (q1, X011(#)XXXX) (q1, X011#(X)XXX) (q2, X011(#)0XXX) (q2, X01(1)#0XXX) (q2, X0(1)1#0XXX) (q2, X(0)11#0XXX) (q2, (X)011#0XXX) (q0, 0(0)11#0XXX) (q1, 0X(1)1#0XXX) (q1, 0X1(1)#0XXX) (q1, 0X11(#)0XXX) (q1, 0X11#(0)XXX) (q1, 0X11#0(X)XX) (q2, 0X11#(0)0XX) (q2, 0X11(#)00XX) (q2, 0X1(1)#00XX) (q2, 0X(1)1#00XX) (q2, 0(X)11#00XX) (q0, 00(1)1#00XX) (q3, 00X(1)#00XX) (q3, 00X1(#)00XX) (q3, 00X1#(0)0XX) (q3, 00X1#0(0)XX) (q3, 00X1#00(X)X) (q4, 00X1#0(0)1X) (q4, 00X1#(0)01X) (q4, 00X1(#)001X) (q4, 00X(1)#001X) (q4, 00(X)1#001X) (q0, 001(1)#001X) (q3, 001X(#)001X) (q3, 001X#(0)01X) (q3, 001X#0(0)1X) (q3, 001X#00(1)X) (q3, 001X#001(X)) (q4, 001X#00(1)1) (q4, 001X#0(0)11) (q4, 001X#(0)011) (q4, 001X(#)0011) (q4, 001(X)#0011) (q0, 0011(#)0011) (q5, 0011#(0)011)

$\{w \in \{0, 1, 2\}^* \mid \text{o último } 1 \text{ é seguido por um } 0\}$ , não-determinística:

Exemplo de entrada	Saida esperada
4 8	01102102 aceita: 01102102
0 0/0,R 0	(q0, (0)1102102)
0 1/1,R 0	(q0, 0(1)102102)
0 2/2,R 0	(q0, 01(1)02102)
0 1/1,R 1	(q0, 011(0)2102)
1 0/0,R 2	(q0, 0110(2)102)
2 0/0,R 2	(q0, 01102(1)02)
2 2/2,R 2	(q1, 011021(0)2)
2 b/b,L 3	(q2, 0110210(2))
1	(q2, 01102102(b))
3	(q3, 0110210(2))
01102102	
111111120	111111120 rejeitada.
1111102	1111102 aceita: 1111102
*	(q0, (1)111102)
	(q0, 1(1)11102)
	(q0, 11(1)1102)
	(q0, 111(1)102)
	(q0, 1111(1)02)
	(q1, 11111(0)2)
	(q2, 111110(2))
	(q2, 1111102(b))
	(q3, 111110(2))

Note que a computação consiste no “caminho” da execução que leva do estado inicial ao estado final que aceita a palavra, apenas (e não todos os “caminhos” que seu programa percorreu).