

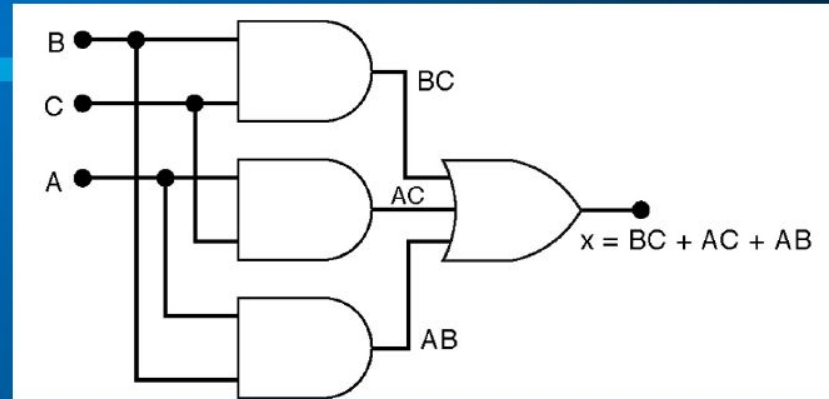
Aula 17 - Máquinas de Estados - I

Prof. Dr. Emerson C. Pedrino
DC/UFSCar
emerson@dc.ufscar.br

Circuitos Combinacionais x Sequenciais

- **Nem todos os projetos em sistemas digitais conseguem ser resolvidos utilizando circuitos combinacionais.**
- **Algumas vezes é necessário o conhecimento de um ou mais estados anteriores e também da sequência anterior para se calcular a saída do circuito.**
- **Exemplo: Contadores**

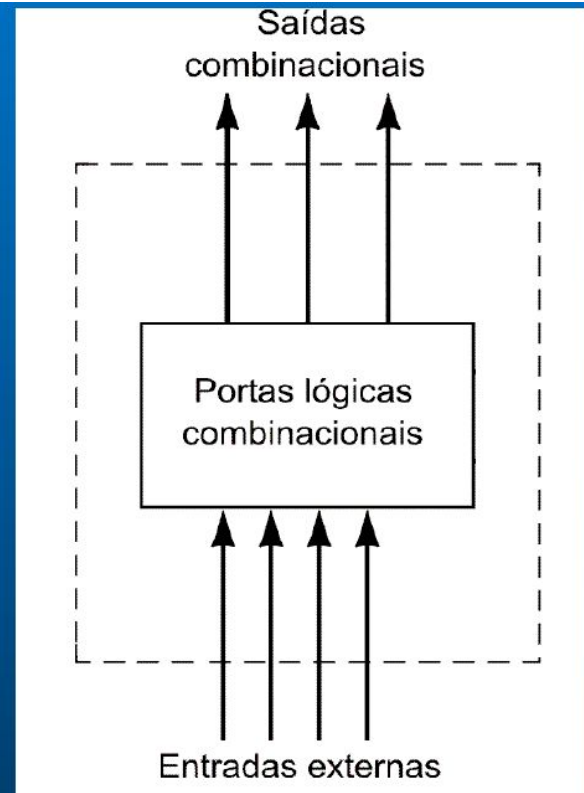
Circuitos Combinacionais



- Não há realimentação - não há memória;
- Tabela verdade – soma de produtos;
- Mapa de Karnaugh.

Circuitos Combinacionais

- Não há realimentação;
- Não há memória
- Ex:
 - Decodificador
 - Somador;
 - Multiplexador;
 - Portas lógicas.



Circuitos Sequenciais

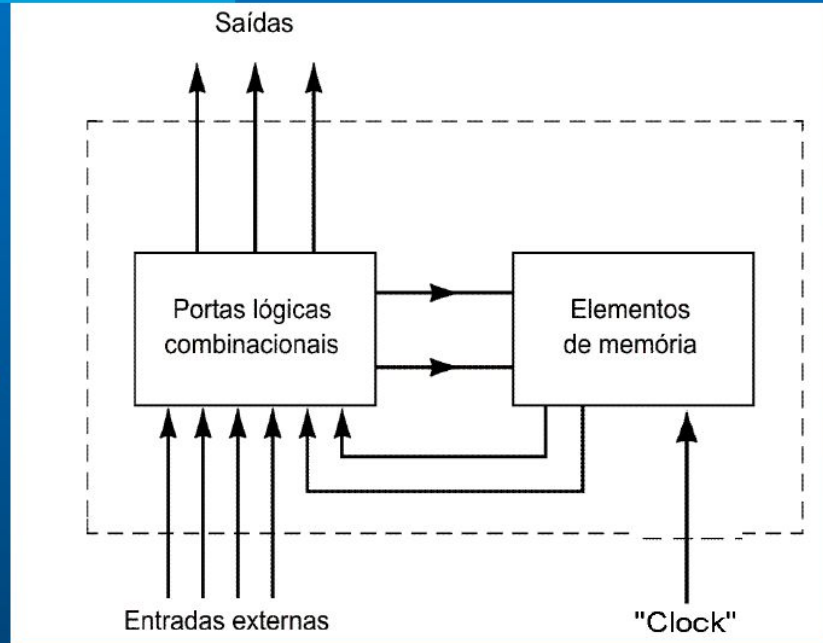
- Há realimentação;
- Elemento de Memória*;
- Dependem da “história” das entradas passadas.

**flip-flop*

Circuitos Sequenciais

Circuito Combinacional + Elemento de Memória

- Memórias;
- Contadores;
- Registradores.

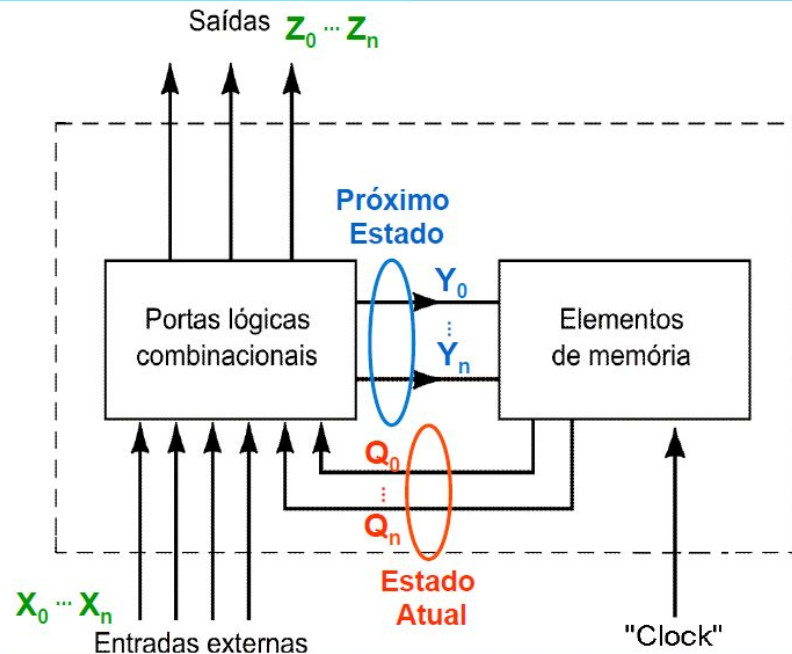


Estado

- Cada estágio através do qual o circuito sequencial avança;
- Em cada estado, o circuito armazena uma “recordação” de sua história passada, para saber o que fazer a seguir;

Composição de um Circuito Sequencial

Circuito Combinatório + Elemento de Memória



Máquina de Moore

- As entradas **não** interferem diretamente na saída, somente nos estados futuros;

- As saídas dependem apenas do Estado Atual

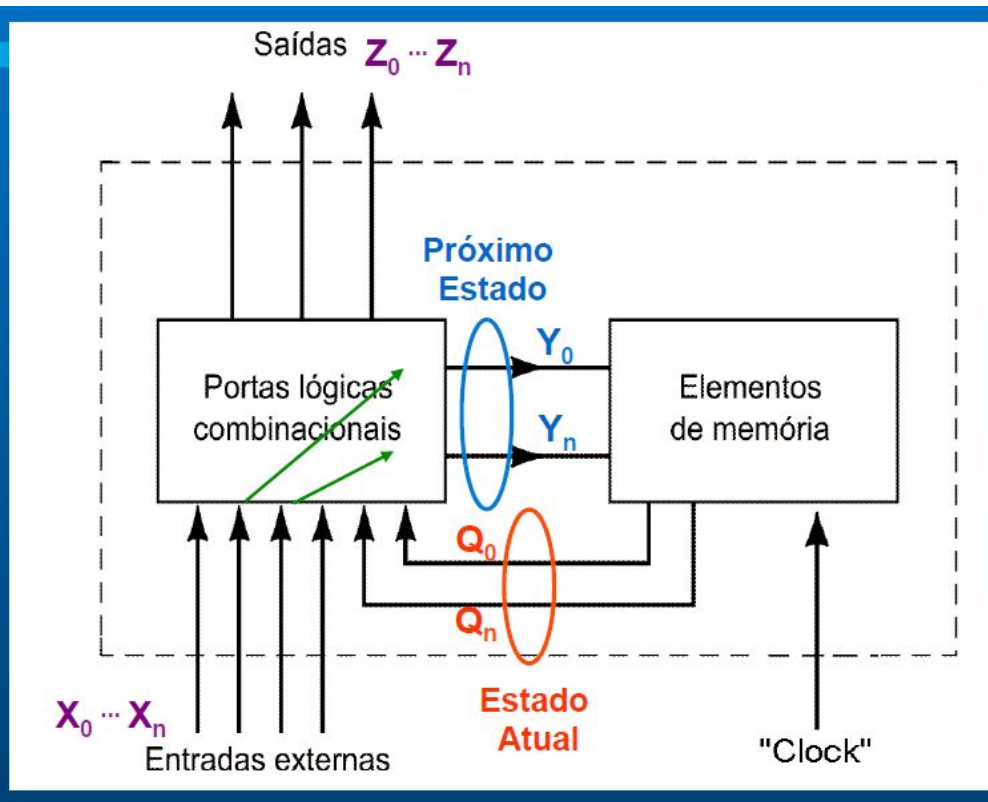
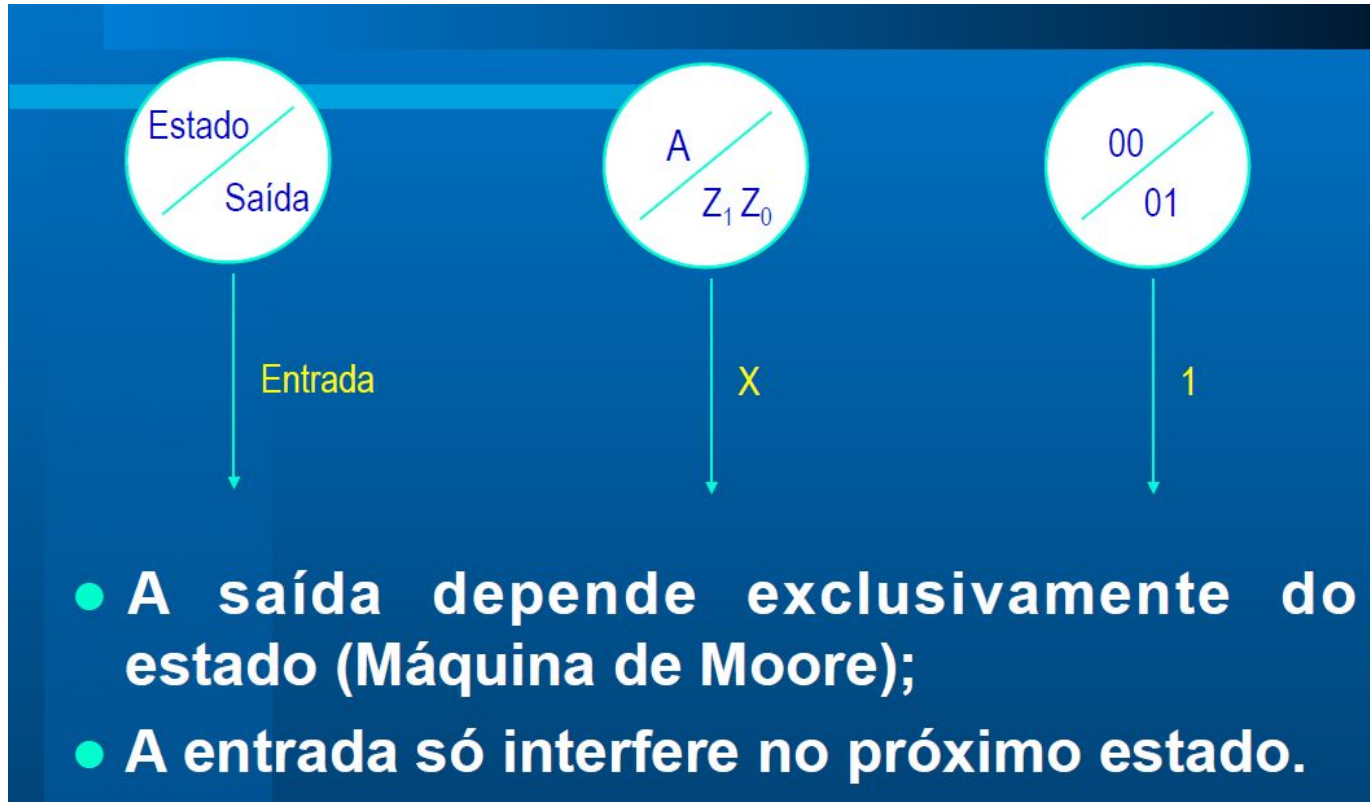


Diagrama de Estados

- O Diagrama de Estado ou Diagrama de Fluxo de Estado, é um **grafo** no qual cada **nó** representa um estado e cada **arco** representa uma transição de estados (fluxo);
- A cada pulso de clock, o fluxo avança um estado;

Diagrama de Estados - Moore

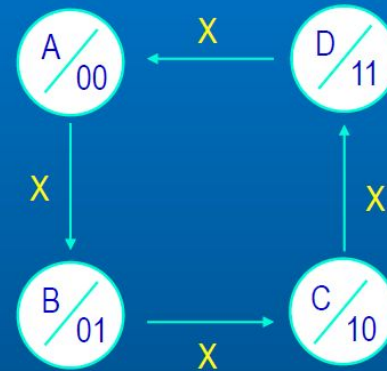


Ex 1 - Contador Crescente de Módulo 4

Tabela de Transição de Estados

Estado Atual	Saída $Z_1 Z_0$	Próximo Estado
A	0 0	B
B	0 1	C
C	1 0	D
D	1 1	A

Diagrama de Estados



- Máquina de Moore
- Modelo simples – não tem entrada
- Apenas 1 arco de fluxo

Exemplo de Projeto Sequencial

- Observar uma fileira de 3 lâmpadas;
- As lâmpadas só acendem uma de cada vez;
- Se as lâmpadas acenderem na sequência 1 – 2 – 3, deve-se soar um alarme.



1



2



3

ALARME !

Exemplo de Projeto Sequencial

- A sequência deve ser analisada.
- Se a condição 1-2-3 não for observada, despreza-se até a lâmpada 1 acender novamente;
- Exemplo: sequência: 1 2 2 1 3 2 1 2



1



2



3

Exemplo de Projeto Sequencial

- Quantas Entradas? **4**

- 00 – nenhuma lâmpada acende
- 01 – lâmpada 1 acende
- 10 – lâmpada 2 acende
- 11 – lâmpada 3 acende

2 bits



1



2



3

Exemplo de Projeto Sequencial

- Quantas Saídas? **2**

- 0 – nenhum alarme toca
- 1 – alarme toca

1 bit



1

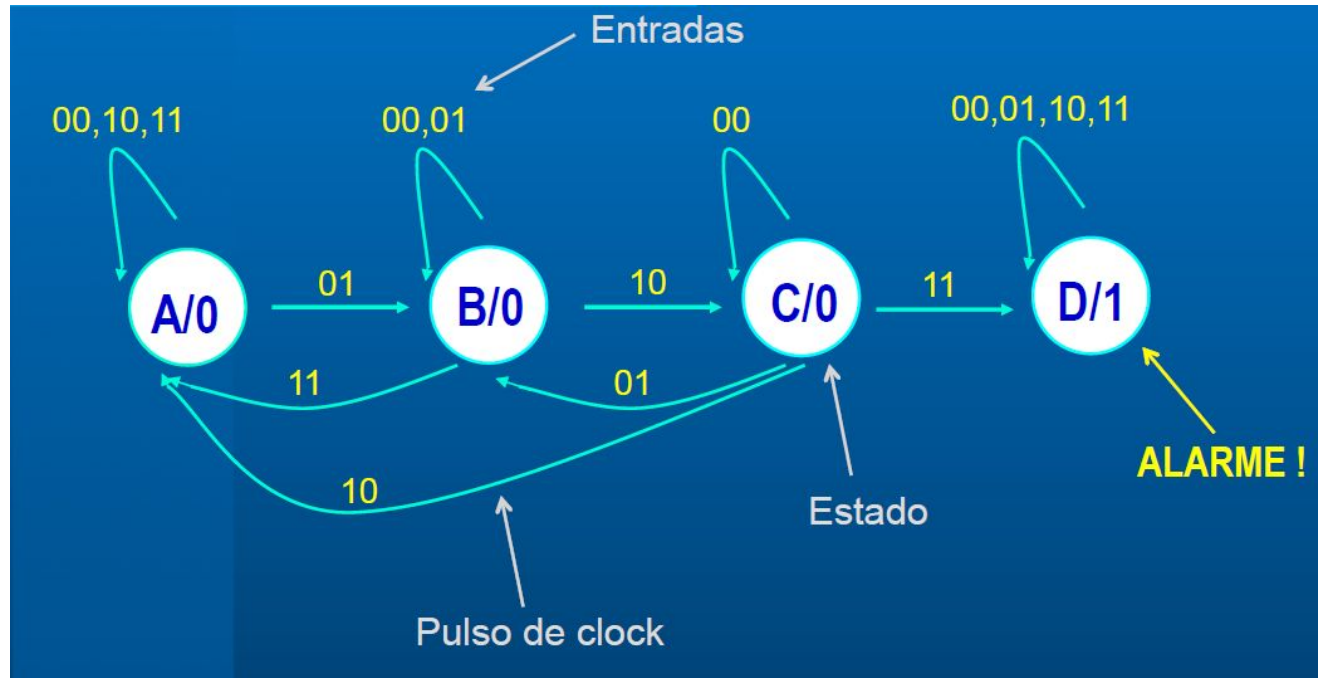


2



3

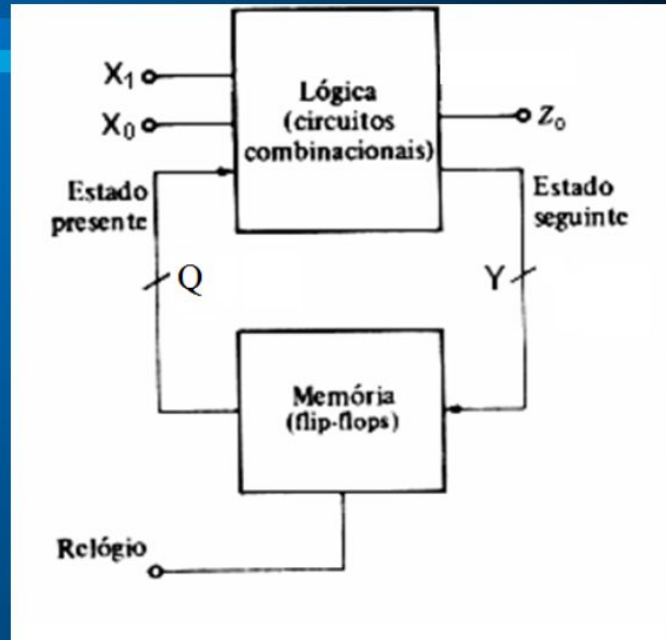
Exemplo de Projeto Sequencial - Diagrama de Estados



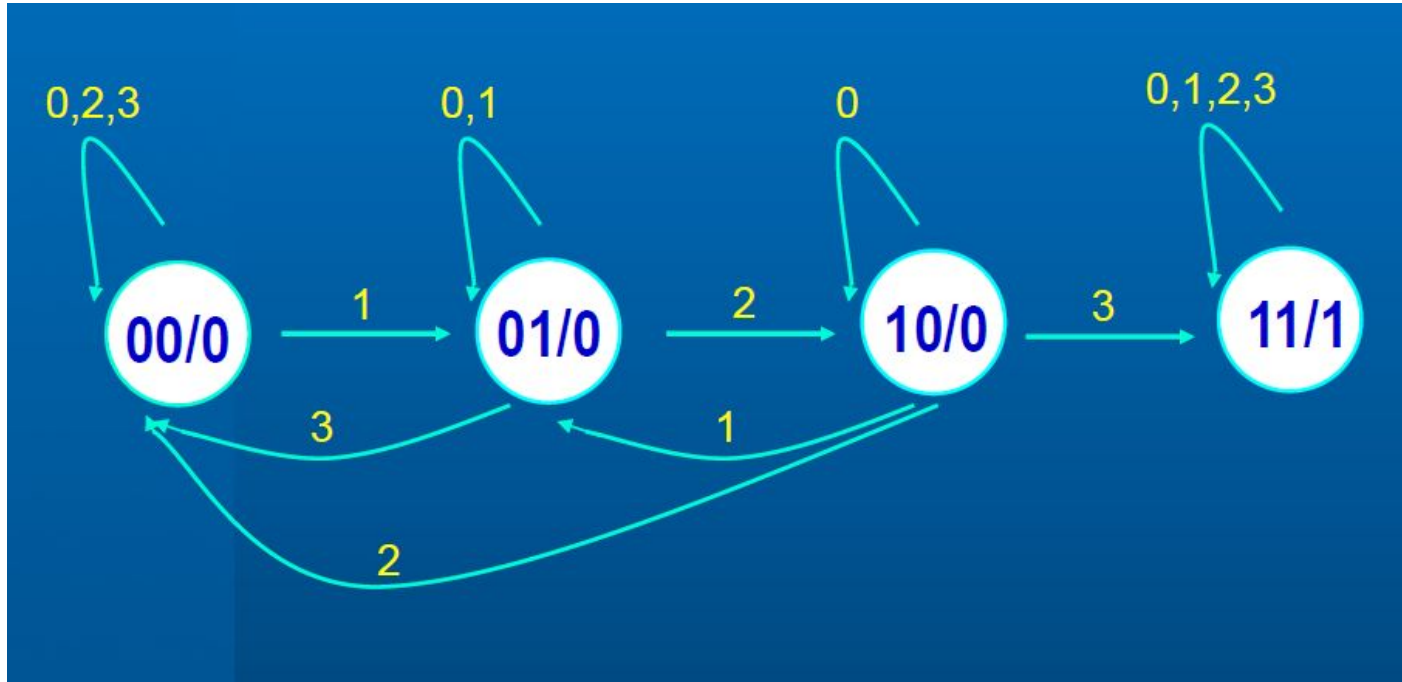
Exemplo de Projeto Sequencial - Atribuição de Estados

Tabela de Atribuição de Estados

Estado	Flip-Flop Q_1Q_0
A	0 0
B	0 1
C	1 0
D	1 1



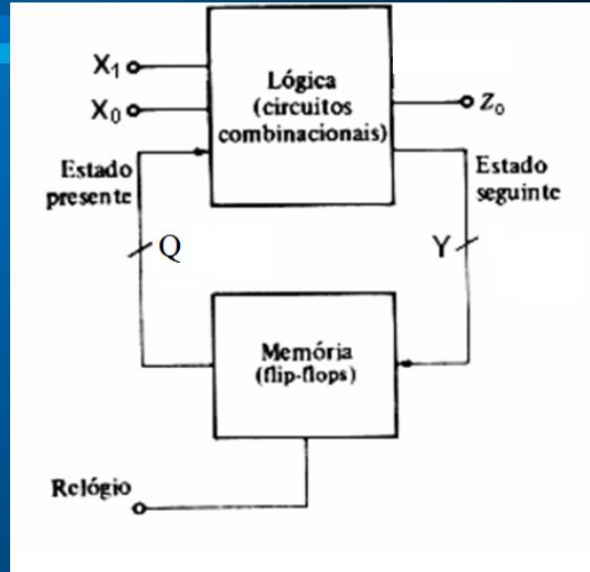
Exemplo de Projeto Sequencial - Atribuição de Estados - Diagrama de Estados



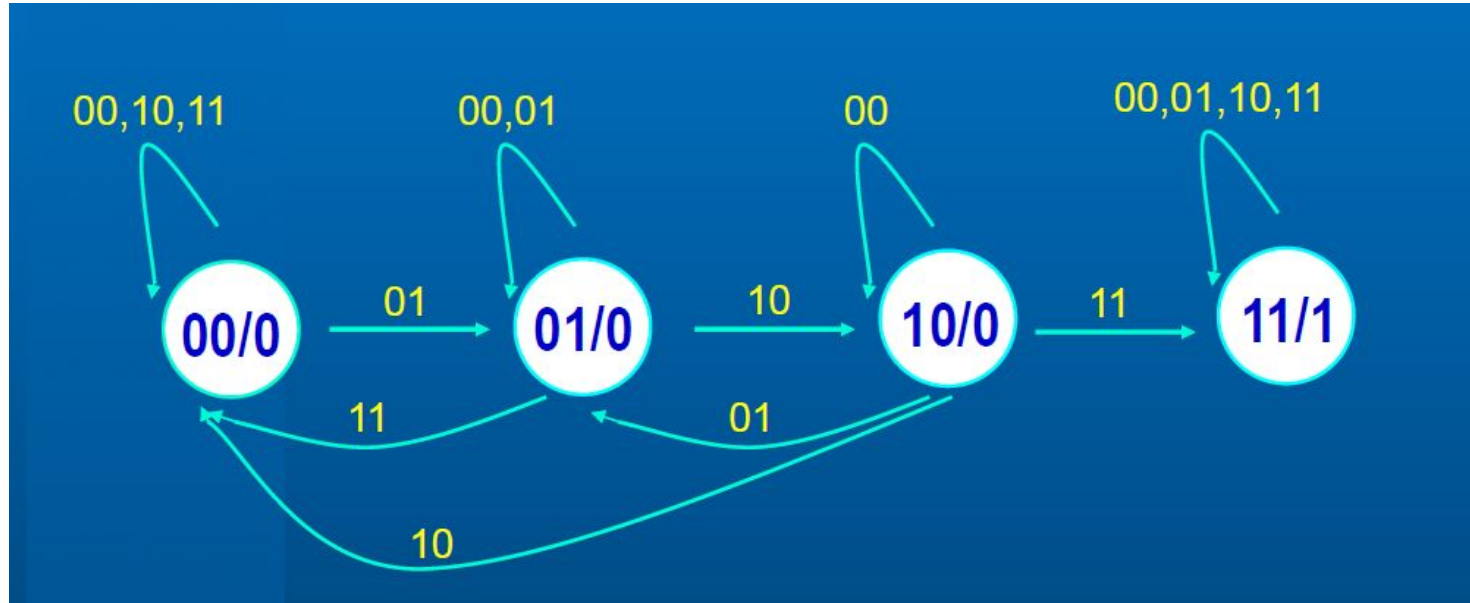
Exemplo de Projeto Sequencial - Atribuição de Entradas

Tabela de Entradas

Entrada	X_1X_0
0	0 0
1	0 1
2	1 0
3	1 1



Exemplo de Projeto Sequencial - Atribuição de Entradas - Diagrama de Estados Final

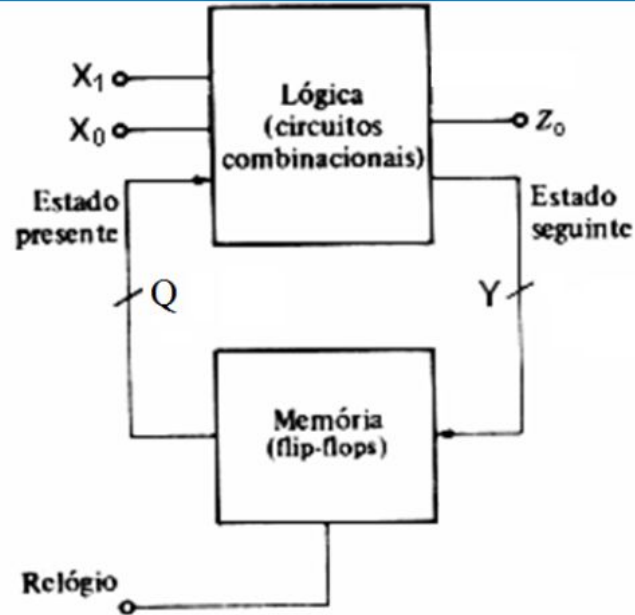


Exemplo de Projeto Sequencial - Síntese do Circuito Sequencial

- A partir do diagrama de estados, escreve-se a Tabela de Transição de estados e a Tabela de Saída.
- A partir dessa Tabela, projeta-se o circuito sequencial escolhendo qual o tipo de FF que será utilizado (RS, JK, D ou T)
- Circuito combinatório: portas lógicas;
- Circuito de memória: Flip-Flops;

Exemplo de Projeto Sequencial - Síntese do Circuito Sequencial

- 2 entradas (X_1, X_0)
- 1 Saída (Z_0)
- 2 Flip-Flops (Q_1, Q_0)



Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Transição de Estados e de Saída

$Q_1 Q_0$	$X_1 X_0$	$Y_1 Y_0$	Z_0
A	00		
A	01		
A	10		
A	11		
B	00		
B	01		
B	10		
B	11		
C	00		
C	01		
C	10		
C	11		
D	00		
D	01		
D	10		

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Transição de Estados e de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
A	00	A	
A	01	B	
A	10	A	
A	11	A	
B	00	B	
B	01	B	
B	10	C	
B	11	A	
C	00	C	
C	01	B	
C	10	A	
C	11	D	
D	00	D	
D	01	D	
D	10	D	
D	11	D	

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Transição de Estados e de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
A	00	A	0
A	01	B	0
A	10	A	0
A	11	A	0
B	00	B	0
B	01	B	0
B	10	C	0
B	11	A	0
C	00	C	0
C	01	B	0
C	10	A	0
C	11	D	0
D	00	D	1
D	01	D	1
D	10	D	1
D	11	D	1

Exemplo de Projeto Sequencial - Atribuição dos Estados

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
00	00	00	0
00	01	01	0
00	10	00	0
00	11	00	0
01	00	01	0
01	01	01	0
01	10	10	0
01	11	00	0
10	00	10	0
10	01	01	0
10	10	00	0
10	11	11	0
11	00	11	1
11	01	11	1
11	10	11	1
11	11	11	1

Exemplo de Projeto Sequencial - Escolha do FF

Transição de estados para FF JK

J	K	Q
0	0	Q_0
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_0}$

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	Entradas J K	
0 \rightarrow 0	0	X
0 \rightarrow 1	1	X
1 \rightarrow 0	X	1
1 \rightarrow 1	X	0

Exemplo de Projeto Sequencial - Escolha do FF

Transição de estados para FF Tipo D

D	Q
0	0
1	1

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	D
0 \rightarrow 0	0
0 \rightarrow 1	1
1 \rightarrow 0	0
1 \rightarrow 1	1

Exemplo de Projeto Sequencial - Escolha do FF

Transição de estados para FF Tipo T

T	Q
0	Q_0
1	$\overline{Q_0}$

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	T
0 \rightarrow 0	0
0 \rightarrow 1	1
1 \rightarrow 0	1
1 \rightarrow 1	0

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Transição de Estados

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Flip-Flop Tipo D $D_1 D_0$
00	00	00	
00	01	01	
00	10	00	
00	11	00	
01	00	01	
01	01	01	
01	10	10	
01	11	00	
10	00	10	
10	01	01	
10	10	00	
10	11	11	
11	00	11	
11	01	11	
11	10	11	
11	11	11	

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Transição de Estados

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Flip-Flop Tipo D $D_1 D_0$
00	00	00	0 0
00	01	01	0 1
00	10	00	0 0
00	11	00	0 0
01	00	01	0 1
01	01	01	0 1
01	10	10	1 0
01	11	00	0 0
10	00	10	1 0
10	01	01	0 1
10	10	00	0 0
10	11	11	1 1
11	00	11	1 1
11	01	11	1 1
11	10	11	1 1
11	11	11	1 1

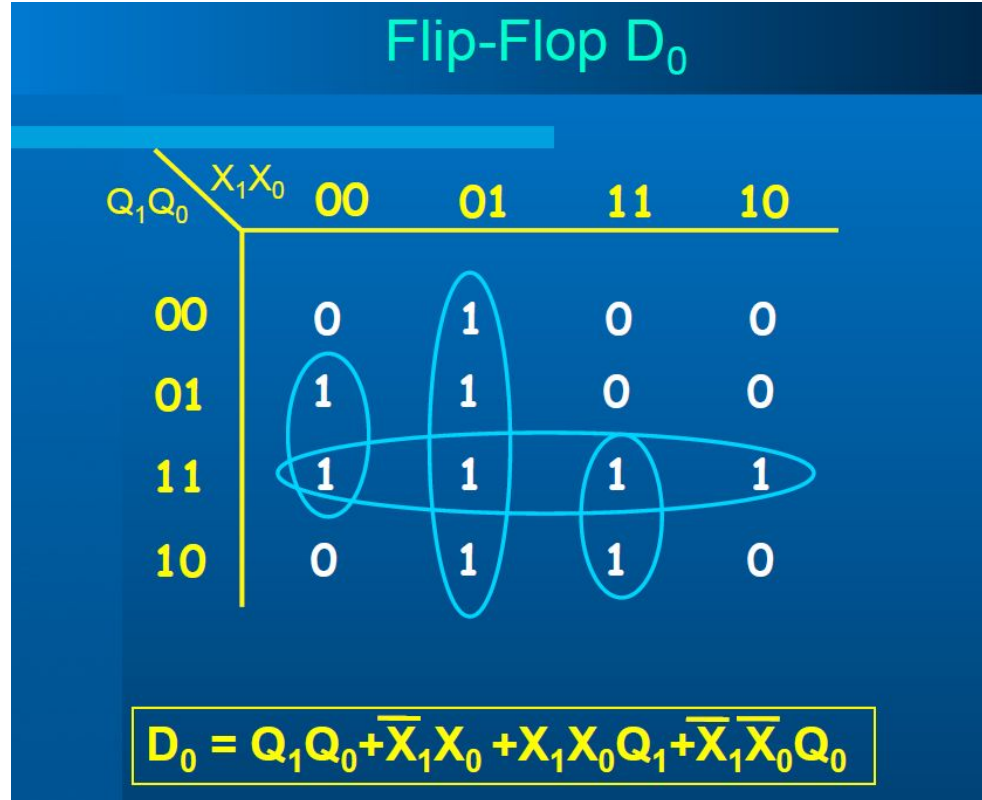
Exemplo de Projeto Sequencial - Mapas K

Flip-Flop D_1

$Q_1Q_0 \backslash X_1X_0$	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	1
11	1	1	1	1
10	1	0	1	0

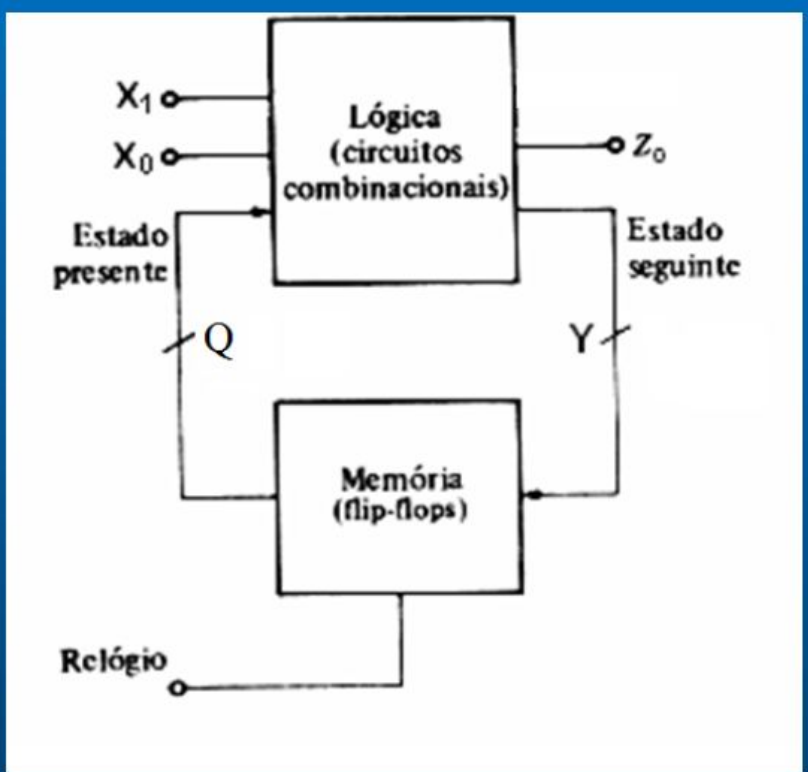
$D_1 = Q_1Q_0 + \overline{X_1}\overline{X_0}Q_1 + X_1X_0Q_1 + X_1\overline{X_0}Q_0$

Exemplo de Projeto Sequencial - Mapas K



Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Saída

- A **Saída** nunca depende do próximo estado
- A **Saída** não depende da entrada (máquina de Moore)
- A **Saída** só depende do estado atual



Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
00	00	00	0
00	01	01	0
00	10	00	0
00	11	00	0
01	00	01	0
01	01	01	0
01	10	10	0
01	11	00	0
10	00	10	0
10	01	01	0
10	10	00	0
10	11	11	0
11	00	11	1
11	01	11	1
11	10	11	1
11	11	11	1

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$			Saída Z_0
00			0
00			0
00			0
00			0
01			0
01			0
01			0
01			0
10			0
10			0
10			0
10			0
11			1
11			1
11			1
11			1

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Saída

Estado Atual Q_1Q_0	Saída Z_0
00	0
01	0
10	0
11	1

Exemplo de Projeto Sequencial - Tabela de Saída

Saída Z_0

		Z_0	
		Q_0 0	Q_0 1
Q_1	0	0	0
	1	0	1

$$Z_0 = Q_1 Q_0$$

- Máquina de MOORE:

- a saída depende exclusivamente do estado presente;
- a entrada não interfere na saída;

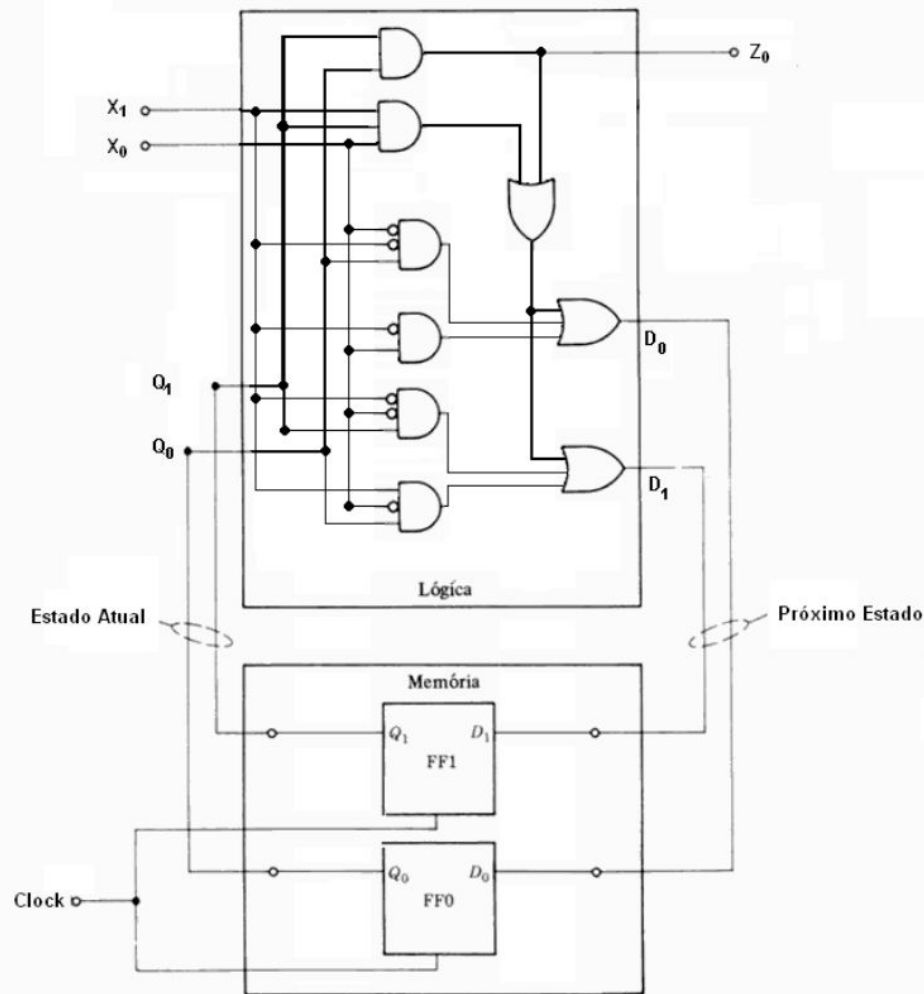
Exemplo de Projeto Sequencial - Máquina de Moore

$$D_1 = Q_1Q_0 + \overline{X_1}\overline{X_0}Q_1 + X_1X_0Q_1 + X_1\overline{X_0}Q_0$$

$$D_0 = Q_1Q_0 + \overline{X_1}X_0 + X_1X_0Q_1 + \overline{X_1}\overline{X_0}Q_0$$

$$Z_0 = Q_1Q_0$$

Exemplo de Projeto Sequencial - Circuito Final



Referências

- Taub, H. Circuitos Digitais e Microprocessadores, McGraw Hill, 1982.
- Nelson, V. P. et al. Digital Logic Circuit Analysis & Design, Prentice Hall, 1995.
- Vieira, M. A. C. Sel 0414 - Sistemas Digitais, EESC-USP.