

CIRCUITOS LÓGICOS MÁQUINA DE ESTADOS

Marco A. Zanata Alves

CIRCUITOS COMBINACIONAIS VS. SEQUENCIAIS

Circuitos Combinacionais: o valor da saída no instante t depende apenas da combinação dos valores das entradas neste mesmo instante. Os estados anteriores não interessam.

Circuitos Sequenciais: o valor da saída no instante t não depende apenas dos valores das entradas neste instante, mas também da sequência das entradas anteriores.

CIRCUITOS COMBINACIONAIS VS. 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

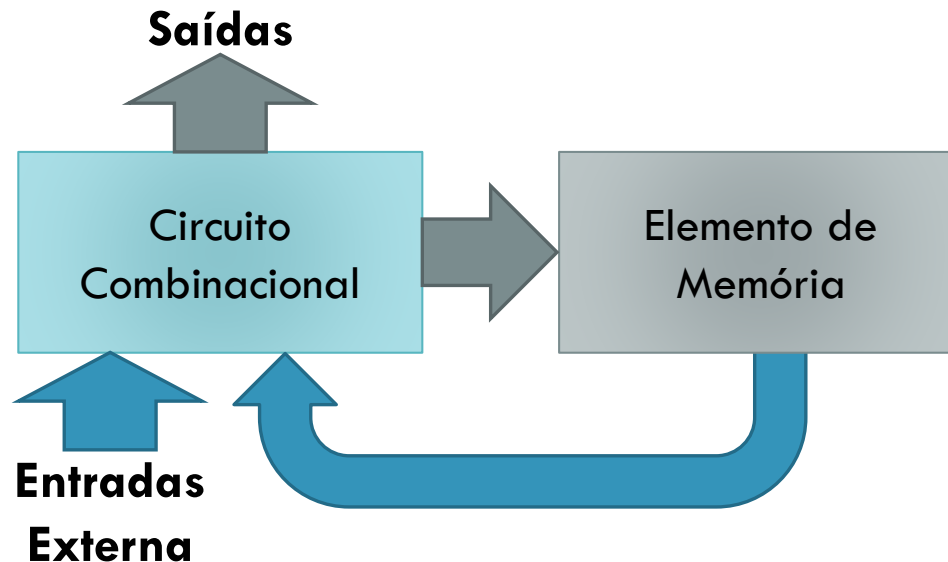
CIRCUITOS SEQUENCIAIS

Circuito Combinacional + Elemento de Memória

Há realimentação;

Elemento de Memória (latches e flip-flops);

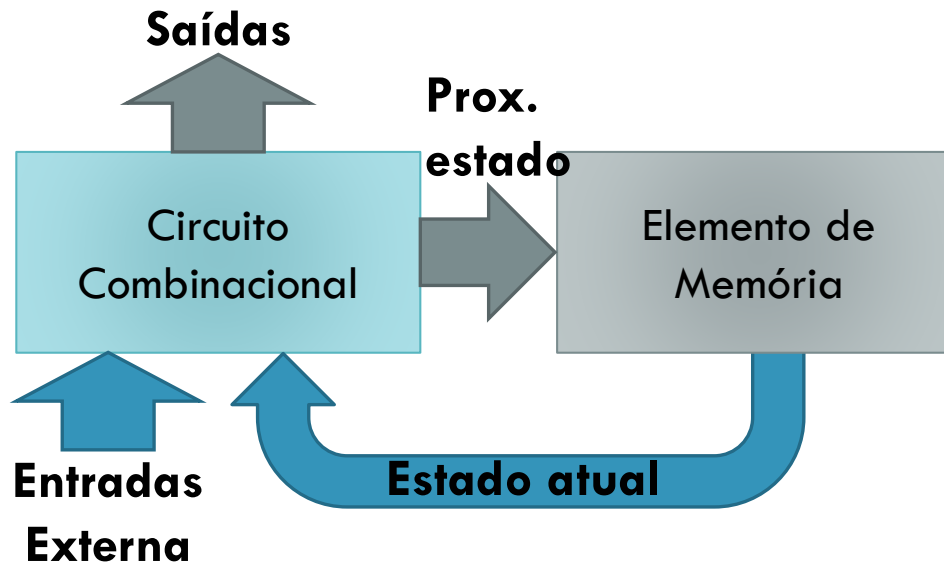
Dependem da “história” das entradas passadas.

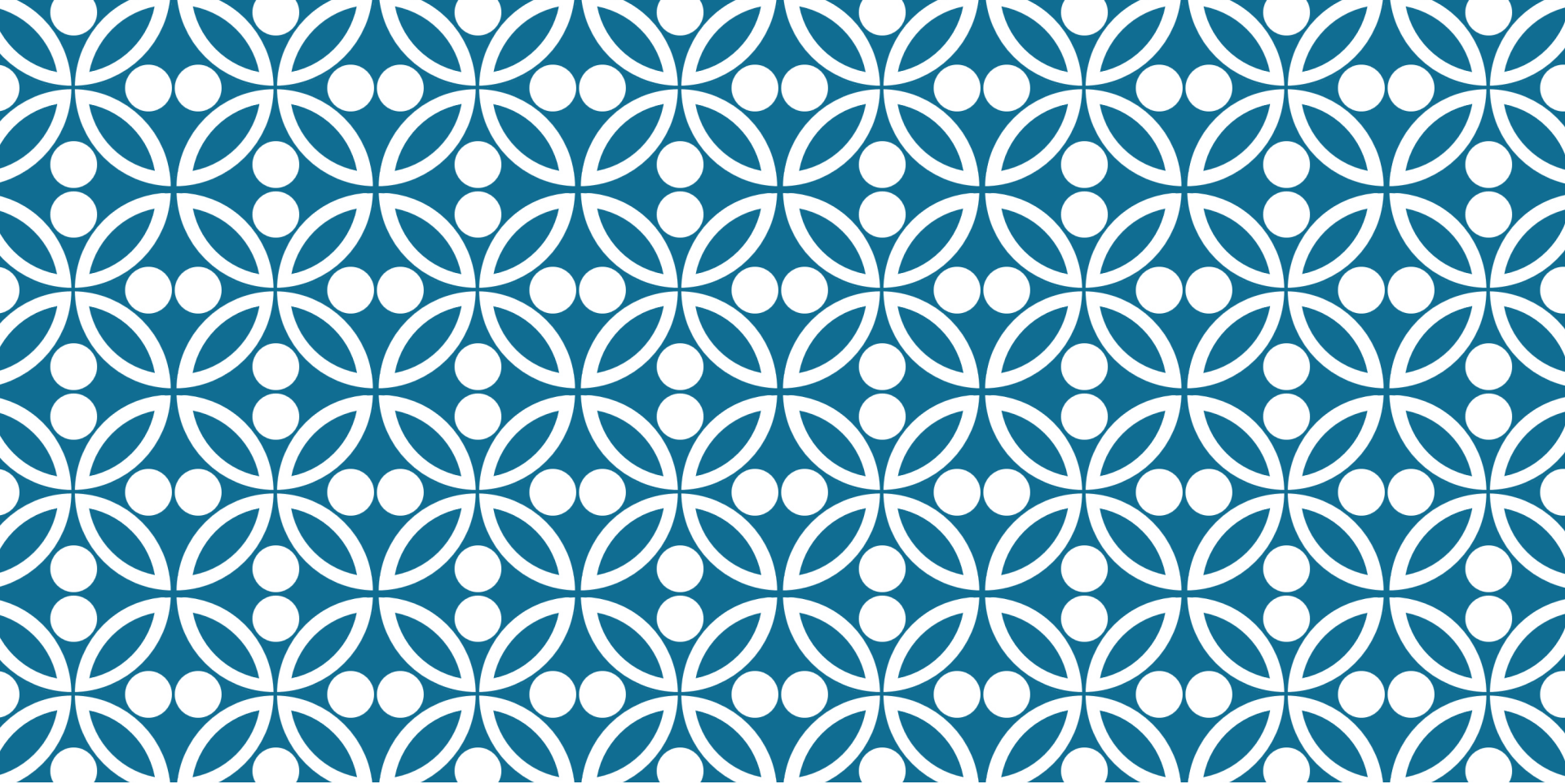


COMPOSIÇÃO DE UM CIRCUITO SEQUENCIAL

Bloco de memória → armazenar informações anteriores para definir o estado presente. Tem como entrada o próximo estado.

Bloco combinacional → definir qual é o próximo estado e a saída externa. Tem como entradas o estado presente e as entradas externas.





MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS

MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS

Também conhecido como autômato finito ou Finite State Machine (FSM).

Trata-se de uma máquina abstrata que deve estar em um de seus finitos estados e cada momento.

A máquina está em apenas um estado por vez, este estado é chamado de estado atual.

Indiretamente, um estado armazena informações sobre o passado.

Uma transição indica uma mudança de estado e é descrita por uma condição que precisa ocorrer para que a transação ocorra.

Uma ação ou saída, é a descrição de uma atividade que deve ser realizada num determinado momento.

ESTADOS

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 (instante $t + 1$);

Nem toda informação anterior é relevante. Ou seja, nem todo estado precisa ser armazenado.

O próximo estado pode depender:

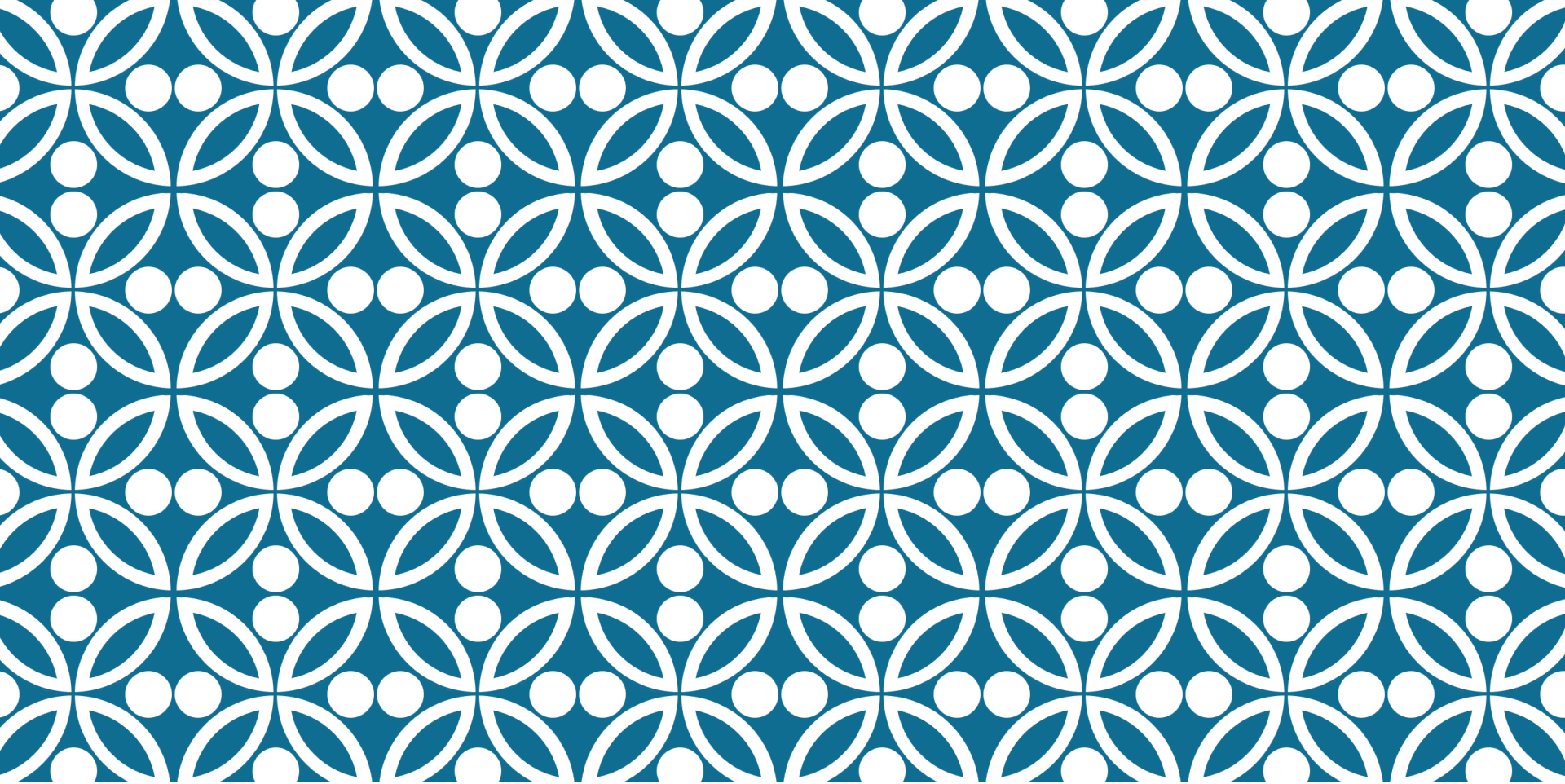
- Apenas do estado anterior;
- Apenas das entradas atuais;
- Uma combinação das entradas atuais com o estado anterior.

SAÍDAS

As saídas do circuito podem ser geradas de duas formas:

- Apenas o estado atual é utilizado para a geração das saídas;
- O estado atual mais as entradas atuais são utilizadas na geração das saídas;

Dependendo de qual maneira as saídas são geradas damos o nome de máquina de estados de Moore ou Mealy.

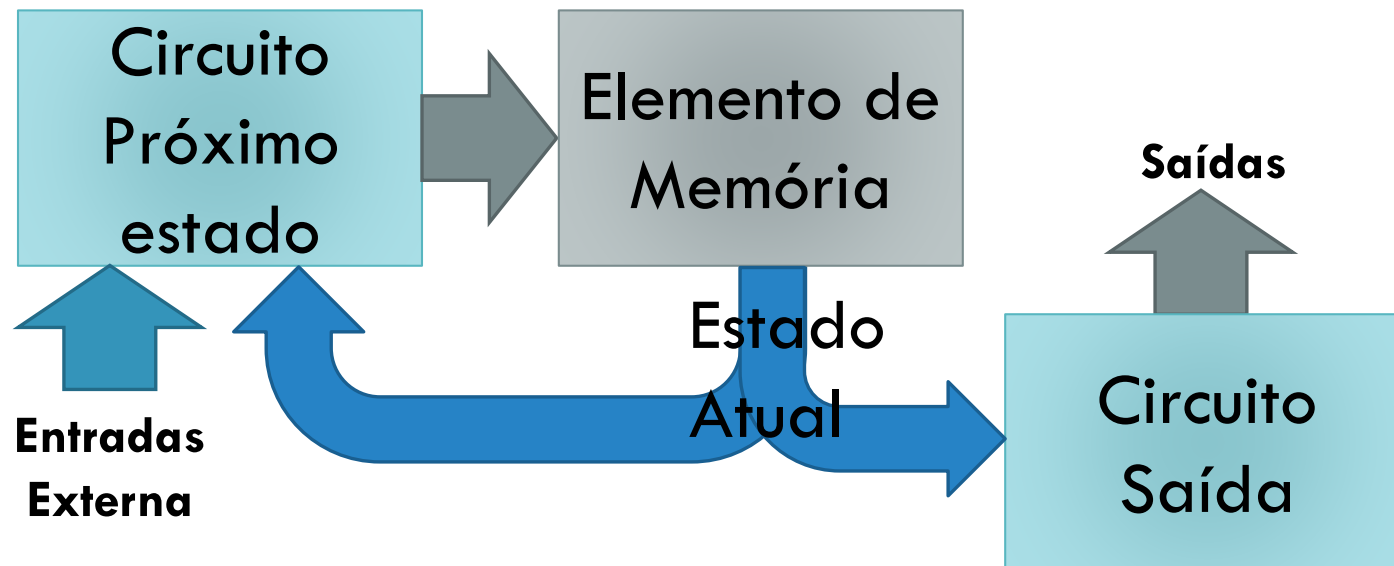


TIPOS DE MÁQUINAS DE ESTADOS

MÁQUINA DE MOORE

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

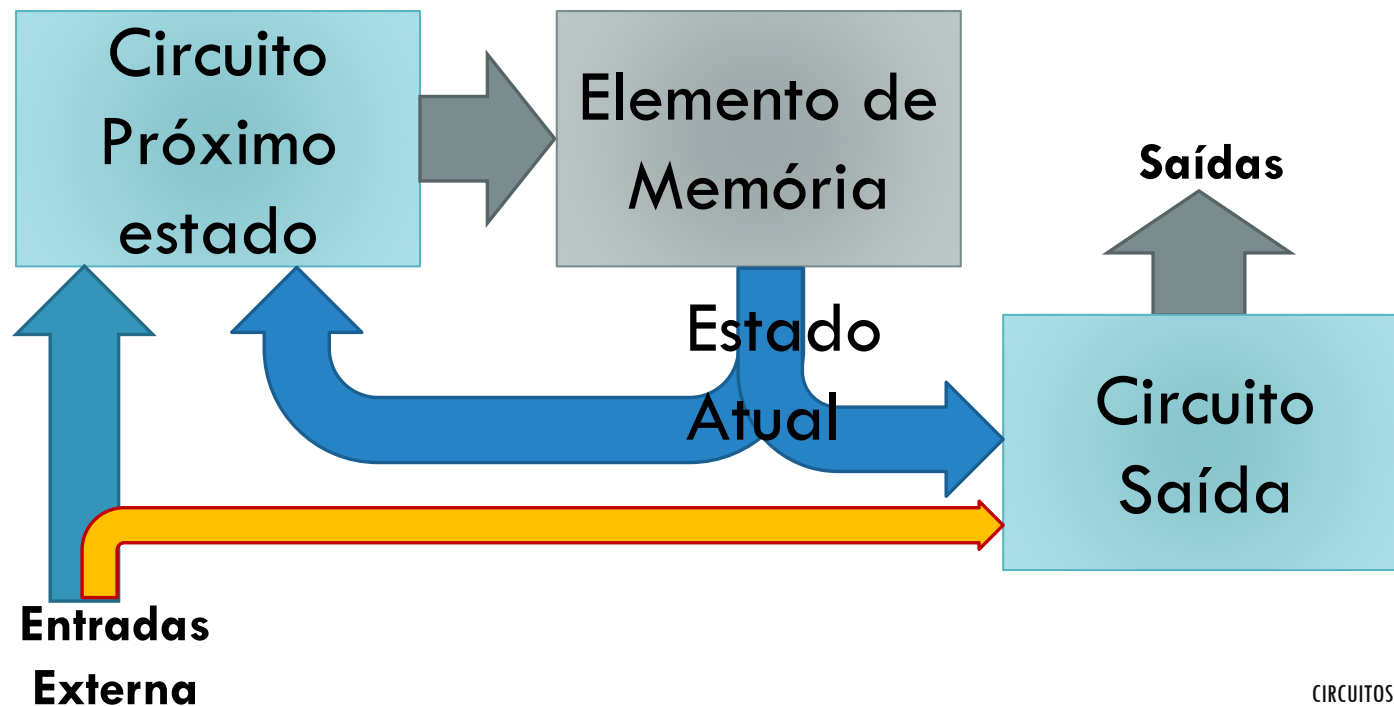
As saídas dependem apenas do estado atual



MÁQUINA DE MEALY

As entradas interferem nos estados futuros e também na saída;

As saídas dependem da **entrada** e do estado atual



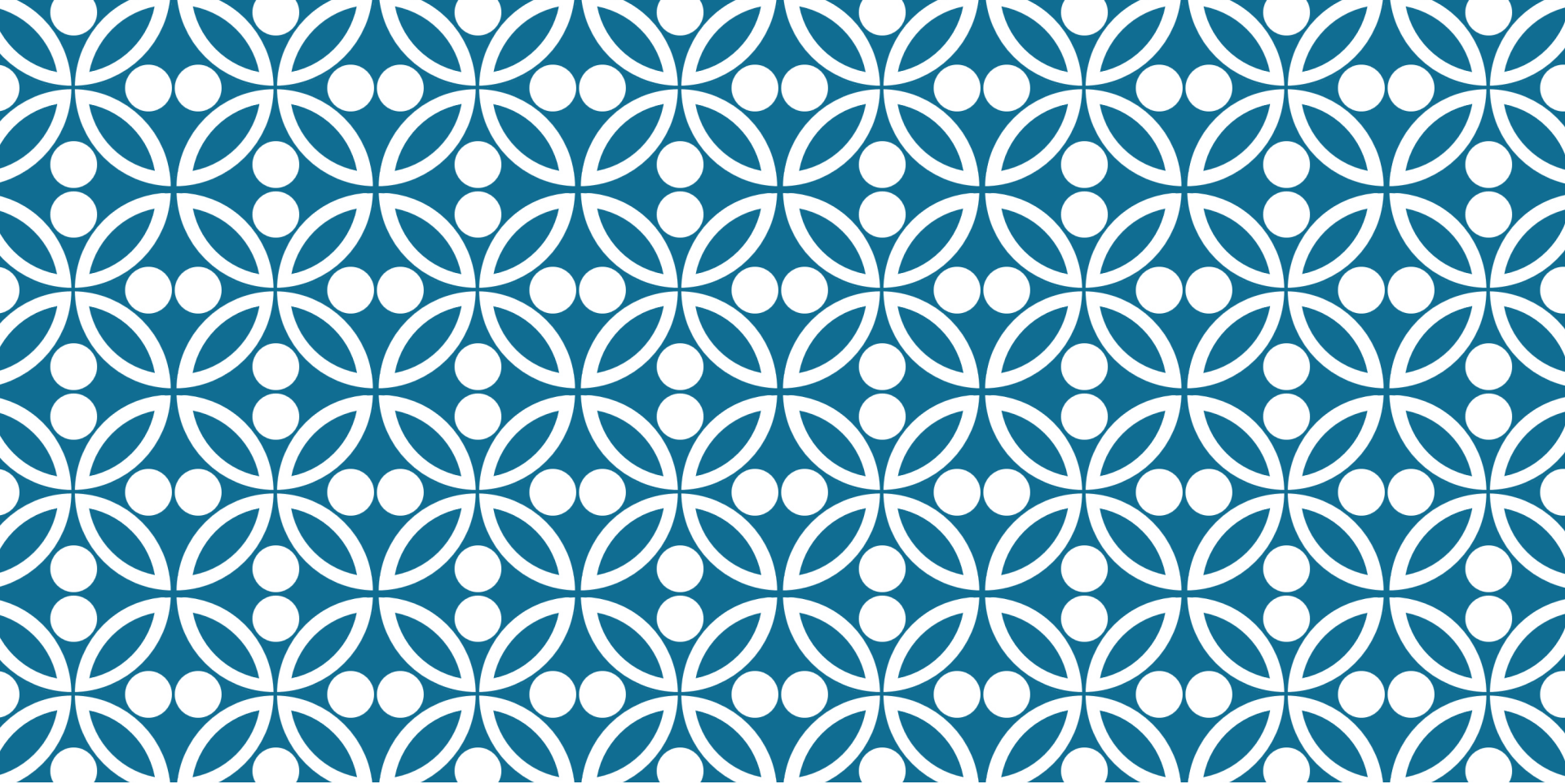
MOORE E MEALY

Máquinas de Moore:

- As saídas são função apenas do estado presente (não das entradas);
- As entradas só interferem no próximo estado;
- As saídas variam sincronamente;
- Resposta mais lenta ou inexistente à variações na entrada.

Máquinas de Mealy:

- As saídas são função do estado presente e das entradas atuais;
- As entradas interferem no próximo estado e também na saída;
- As saídas variam assincronamente com as entradas;
- Resposta mais rápida à variações na entrada.



DIAGRAMAS DE ESTADOS

DIAGRAMA DE ESTADOS

O Diagrama de Estado ou Diagrama de Fluxo de Estado, é um grafo no qual cada nó (vértice) representa um estado e cada arco (aresta) representa uma transição de estados (fluxo);

A cada pulso de clock, o fluxo avança um estado;

Estado com borda dupla indica estado inicial, o estado inicial (estado de entrada) também pode ser indicado por uma flecha;

O diagrama de estados tem formatos diferentes para cada um dos modelos:

- Máquina de Moore
- Máquina de Mealy

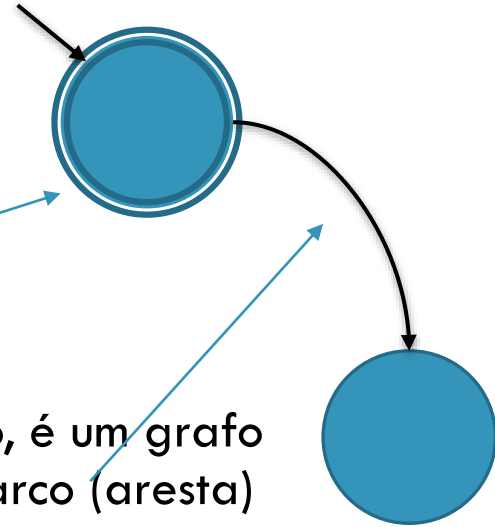


DIAGRAMA DE ESTADOS - MOORE

A saída depende exclusivamente do estado (Máquina de Moore);

A entrada só interfere no próximo estado.

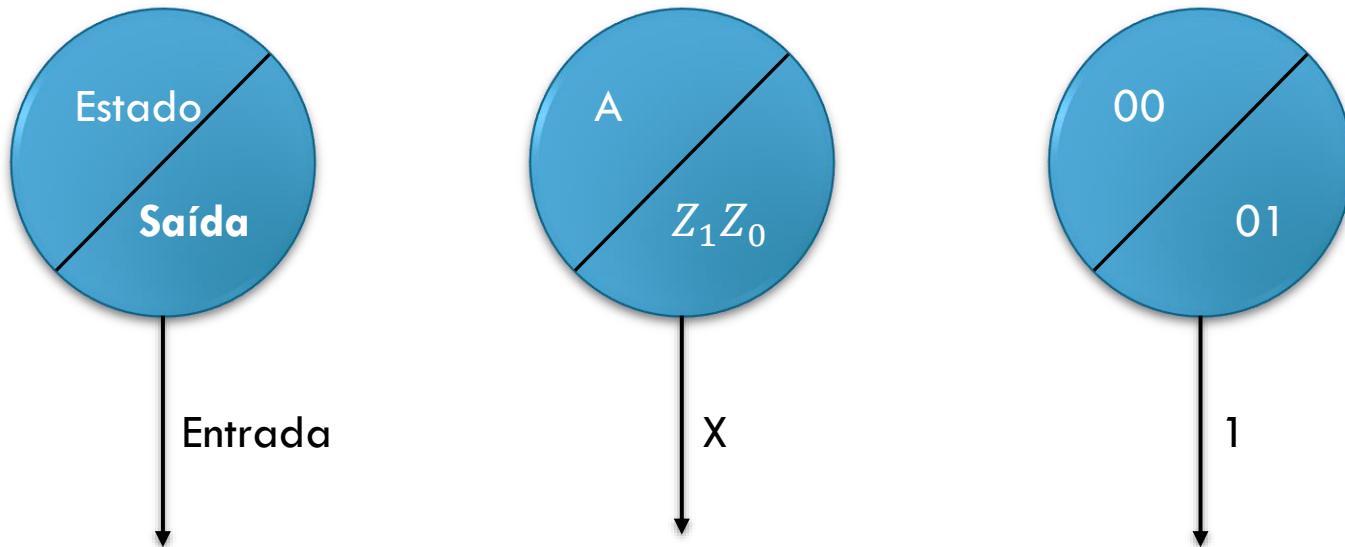
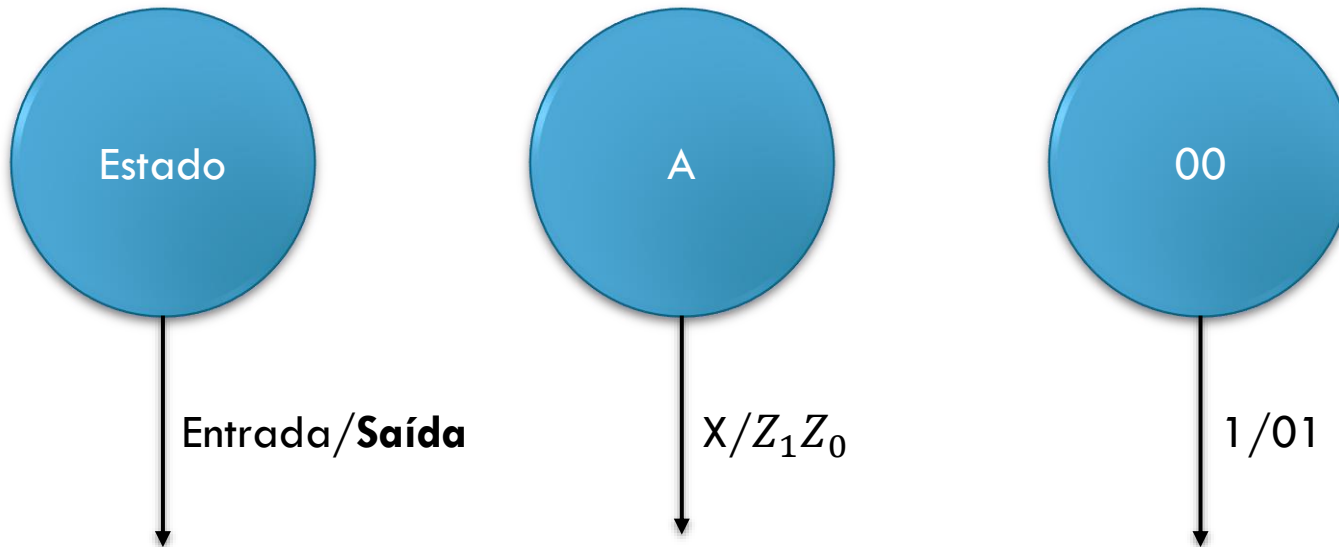
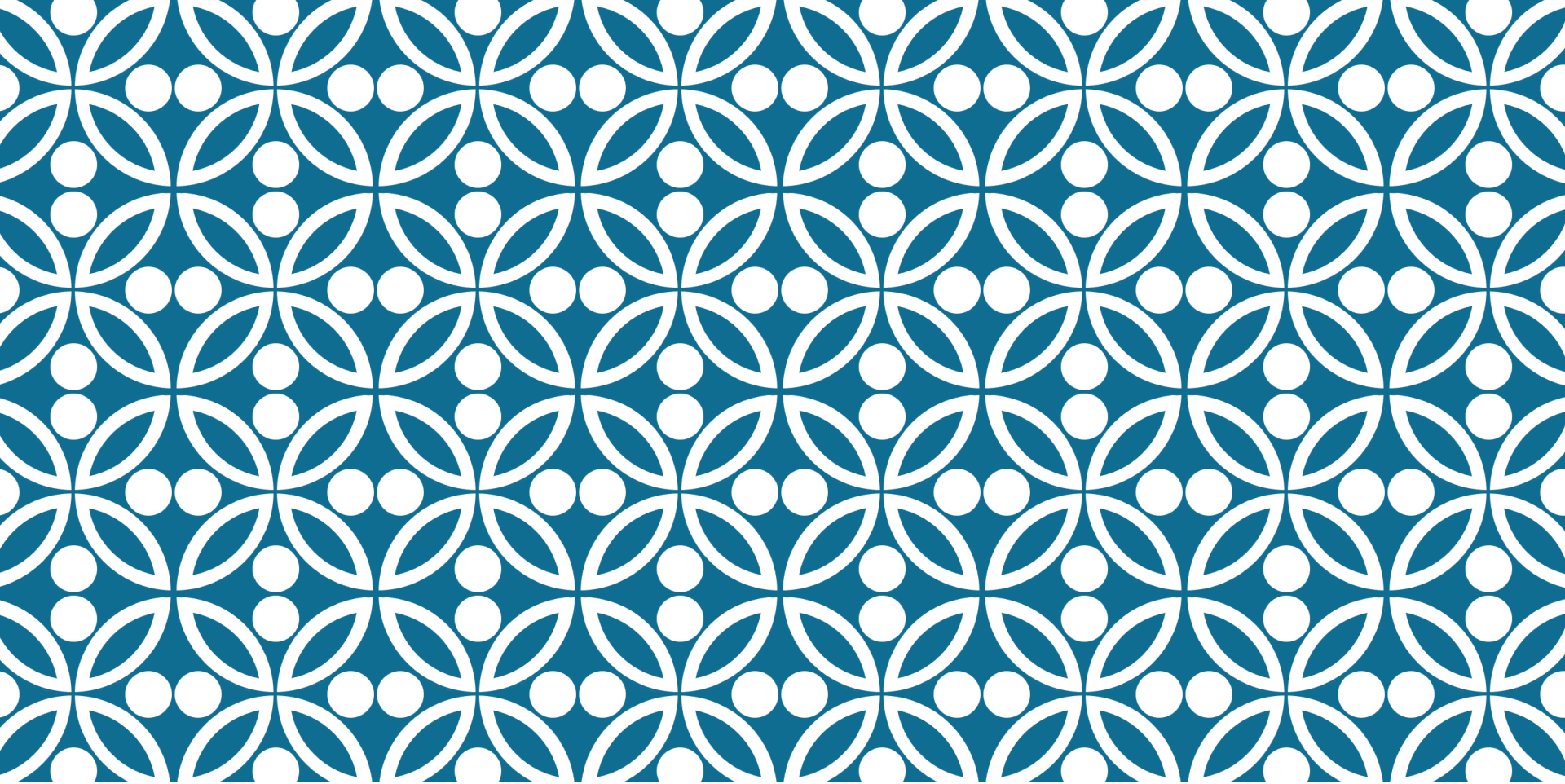


DIAGRAMA DE ESTADOS - MEALY

A saída depende do estado presente e da entrada (Máquina de Mealy);

A entrada interfere no próximo estado e na saída.





EXEMPLO

CONTADOR CRESCENT MÓDULO 4

EXEMPLO 1: CONTADOR CRESCENTE MÓDULO 4

Tabela de Transição de Estados

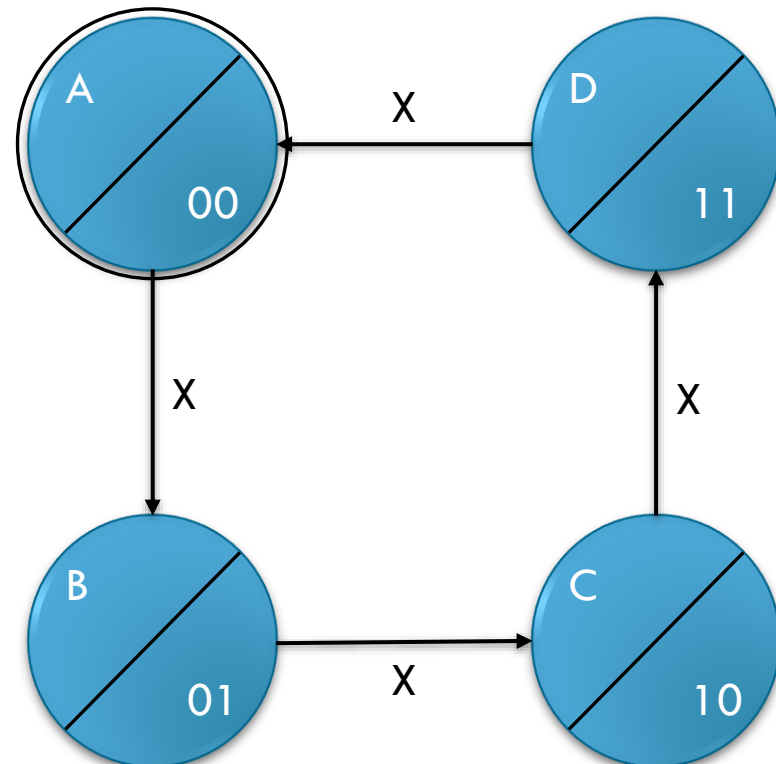
Estado atual	Saída Z_1Z_0	Próximo estado
A	00	B
B	01	C
C	10	D
D	11	A

Máquina de Moore

Modelo simples – não tem entrada

Apenas 1 arco de fluxo

Diagrama de Estados



EXEMPLO 1: CONTADOR CRESCENTE MÓDULO 4

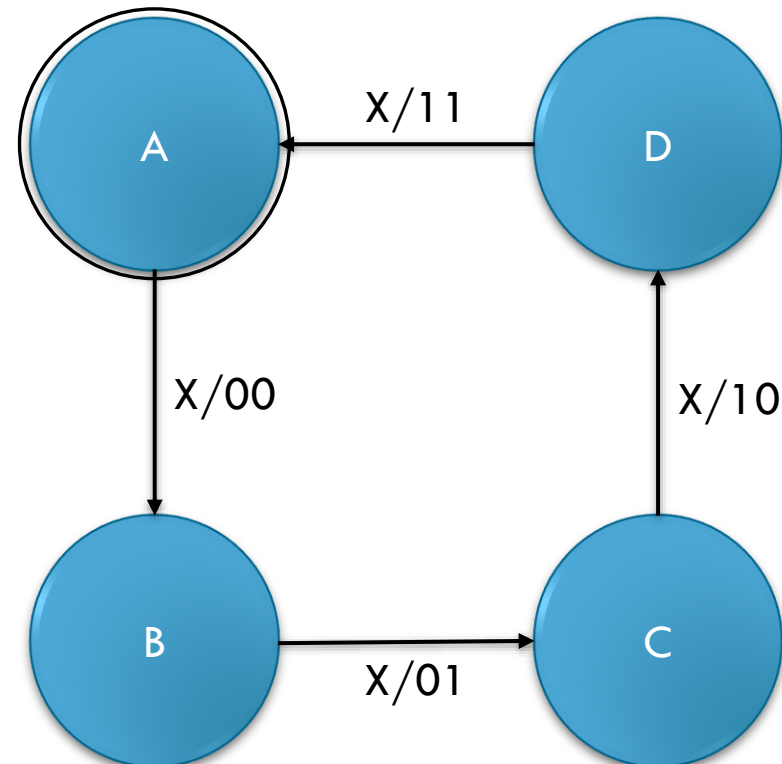
Tabela de Transição de Estados

Estado atual	Saída Z_1Z_0	Próximo estado
A	00	B
B	01	C
C	10	D
D	11	A

Máquina de Mealy

Modelo simples – não tem entrada
Apenas 1 arco de fluxo

Diagrama de Estados

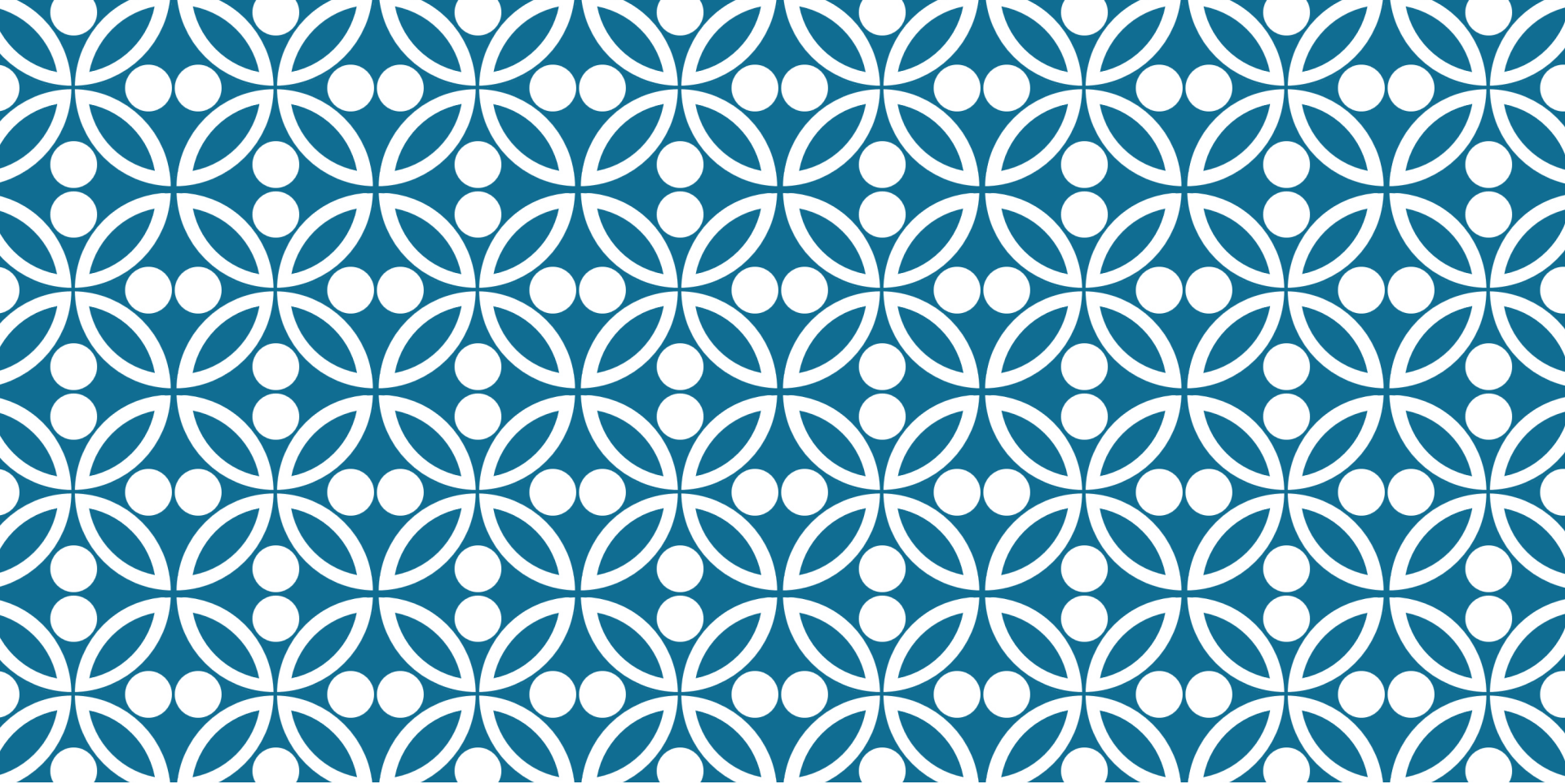


MOORE OU MEALY?

Em geral, a versão Mealy de um circuito sequencial será mais econômica de componentes físicos (hardware) do que a versão Moore;

Como a saída depende da entrada, valores incorretos na entrada durante o ciclo de “clock” podem afetar a saída;

Isso pode não ocorrer na versão Moore, pois alterações na saída e no estado só ocorrem na transição do “clock” (melhor sincronismo)



EXEMPLO DE PROJETO DE CIRCUITO SEQUENCIAL

EXEMPLO: PROBLEMA

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.

EXEMPLO: PROBLEMA

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 3 1 2 2 2 3 3

Quantas entradas?

Quantas saídas?

EXEMPLO: ANÁLISE

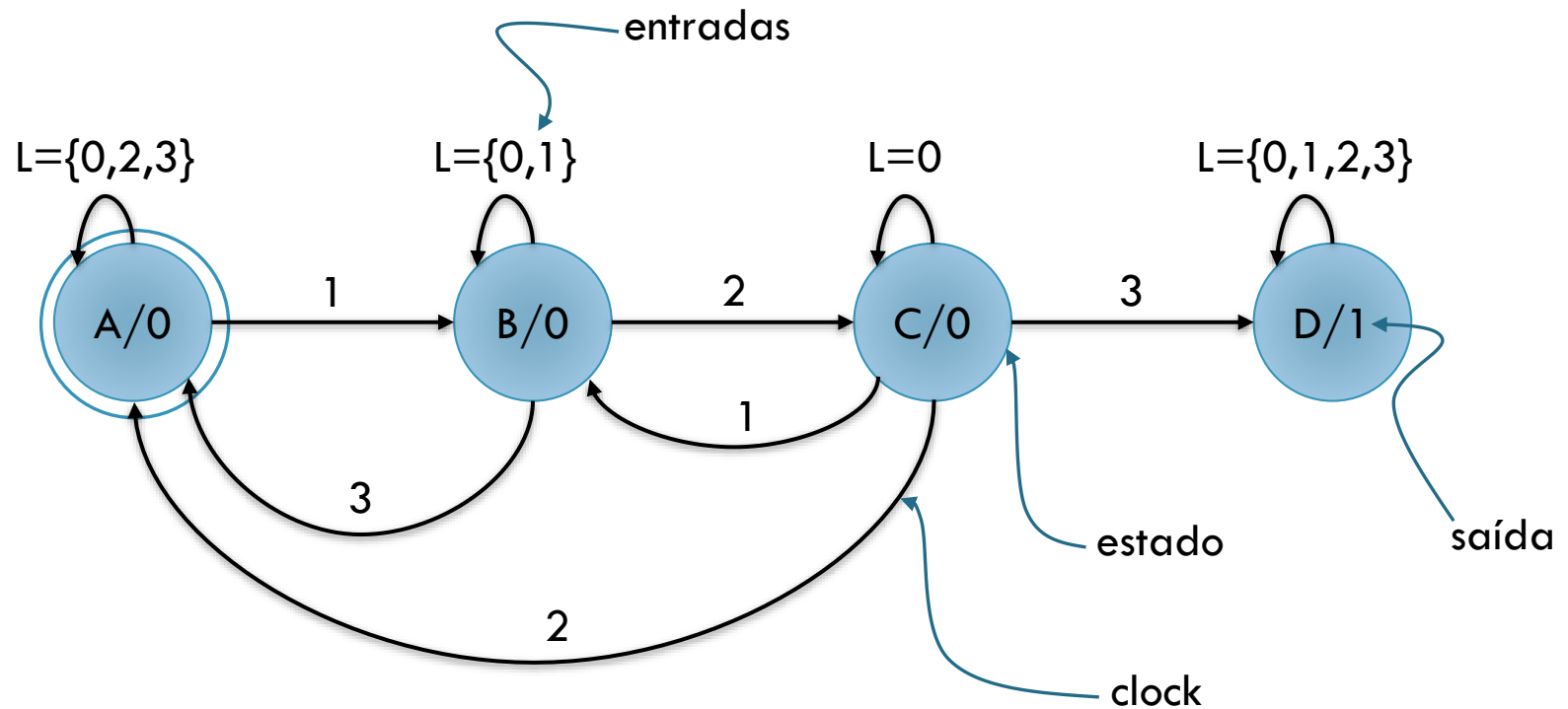
Quantas Entradas? 4

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

Quantas Saídas? 2

- 0 – nenhum alarme toca
- 1 – alarme toca

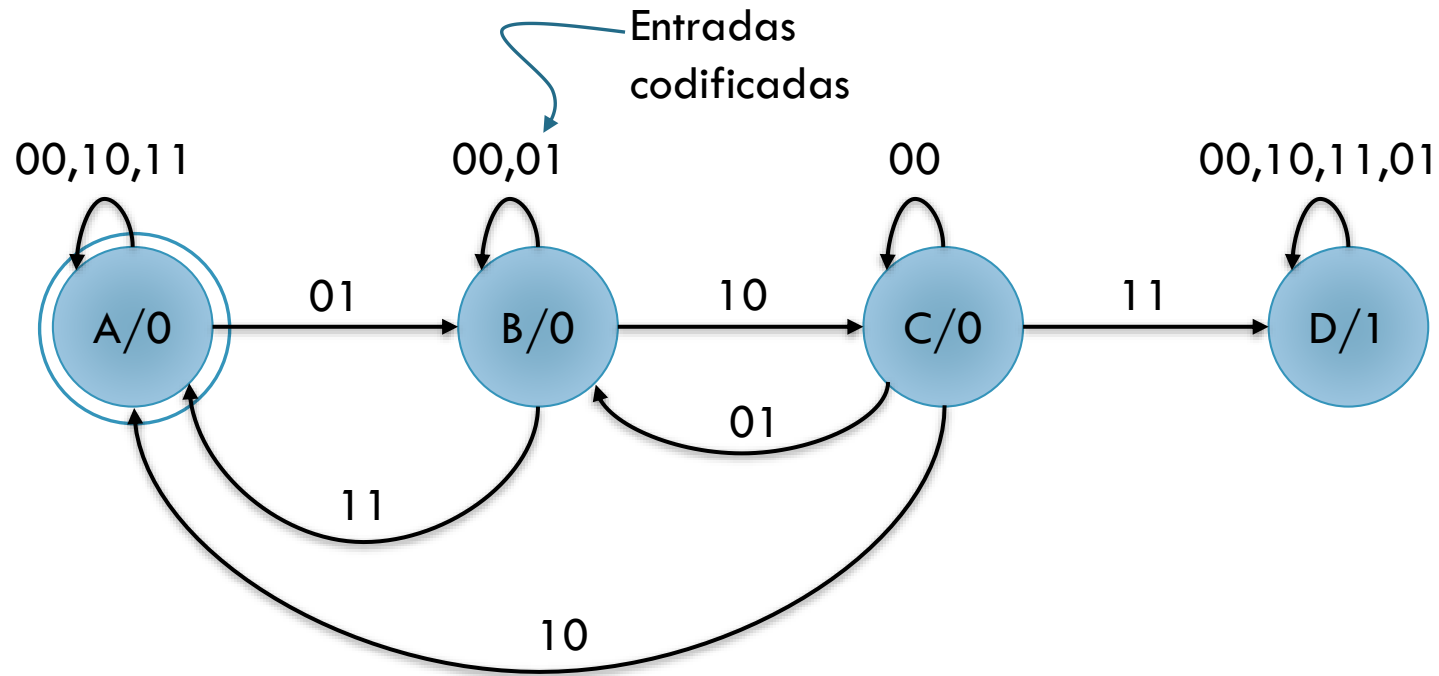
EXEMPLO: DIAGRAMA DE ESTADOS - MOORE



Saídas:

- 0 – alarme desligado
- 1 – alarme ligado

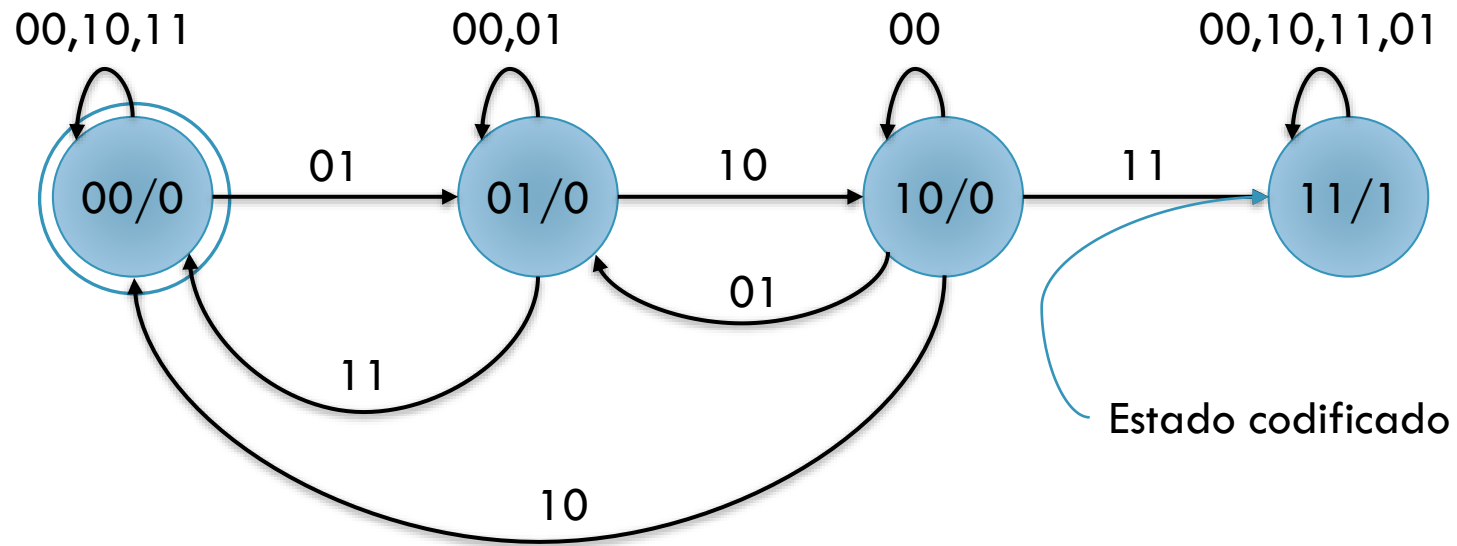
EXEMPLO: DIAGRAMA DE ESTADOS - MOORE



Entradas:

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

EXEMPLO: DIAGRAMA DE ESTADOS - MOORE



Estados:

- A = 00
- B = 01
- C = 10
- D = 11

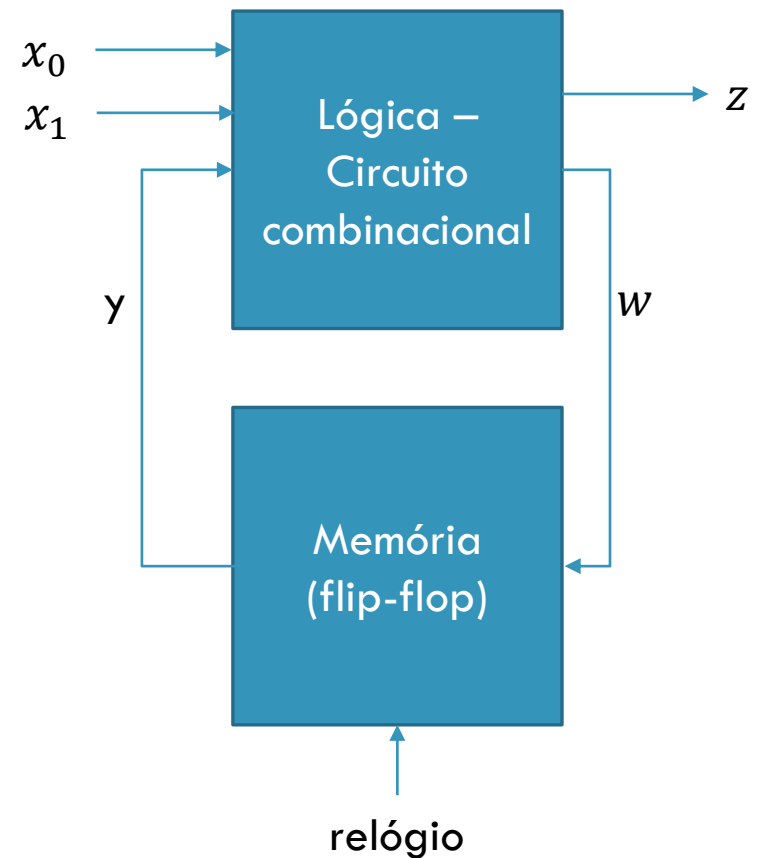
EXEMPLO: PROJETO DE CIRCUITO SEQUENCIAL - MOORE

X_0 e X_1 são as entradas atuais

Z é a saída atual

W indica o próximo estado

Y indica o estado atual



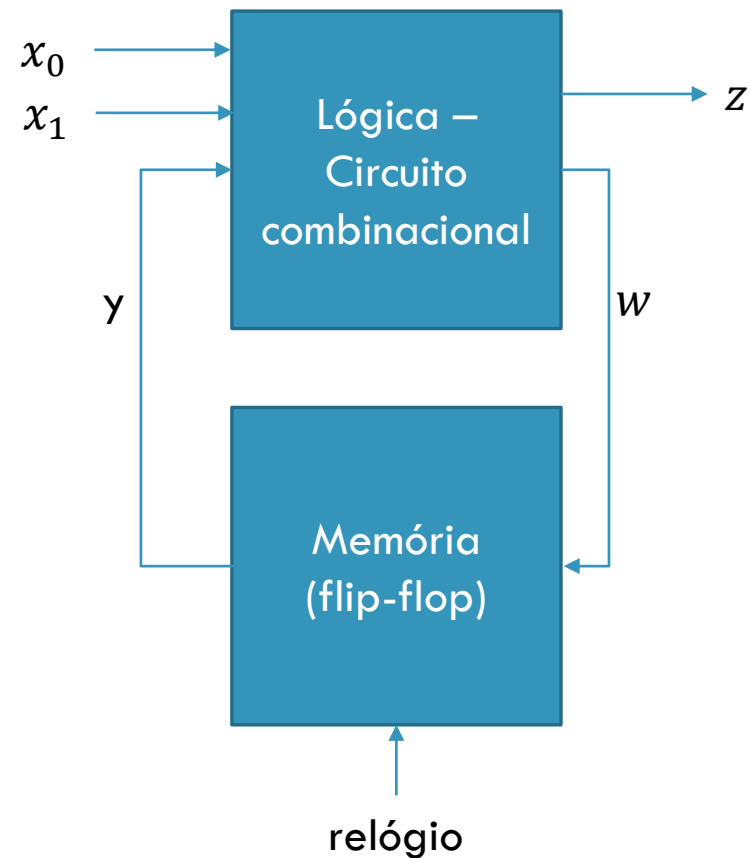
EXEMPLO: SÍNTESE DO CIRCUITO SEQUENCIAL

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;

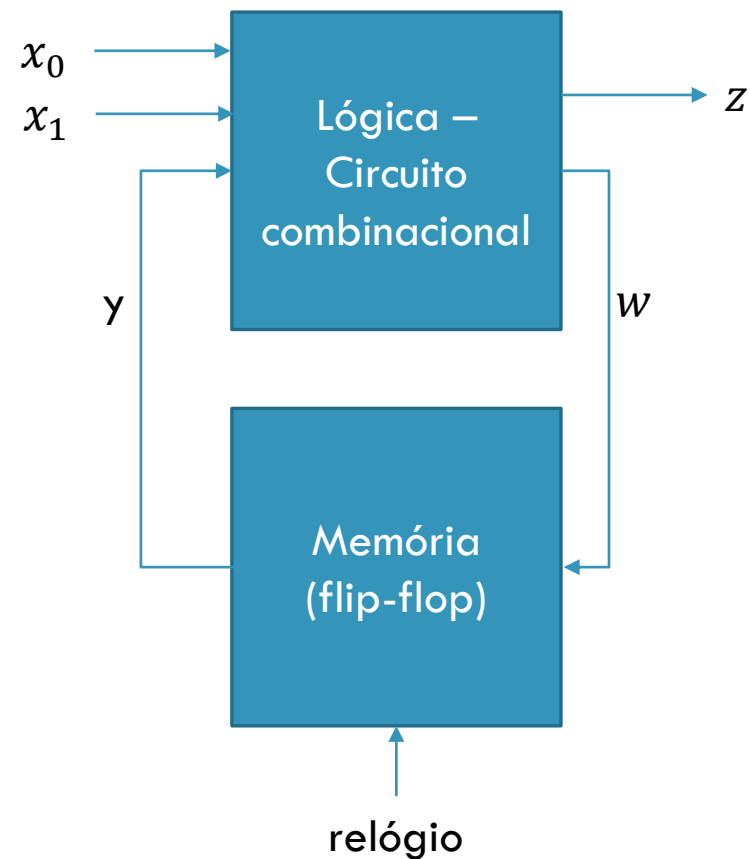
EXEMPLO: SÍNTESE DO CIRCUITO SEQUENCIAL

x1	x0	y1	y0	w1	w0	z
0		A				
1		A				
2		A				
3		A				
0		B				
1		B				
2		B				
3		B				
0		C				
1		C				
2		C				
3		C				
0		D				
1		D				
2		D				
3		D				



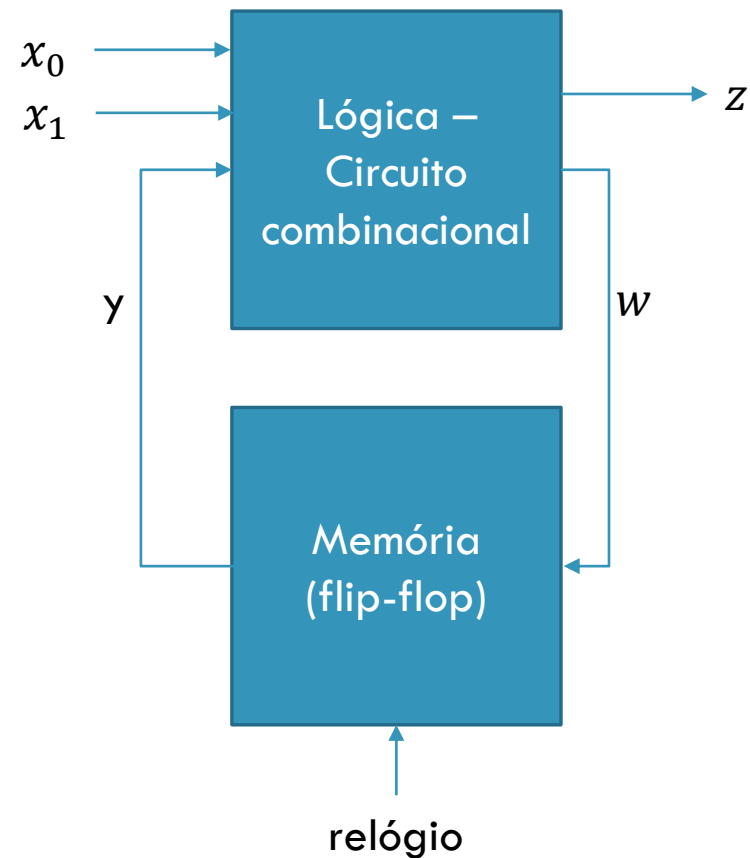
EXEMPLO: SÍNTESE DO CIRCUITO SEQUENCIAL

x1	x0	y1	y0	w1	w0	z
0		A		A		0
1		A		B		0
2		A		A		0
3		A		A		0
0		B		B		0
1		B		B		0
2		B		A		0
3		B		A		0
0		C		C		0
1		C		B		0
2		C		A		0
3		C		D		0
0		D		D		1
1		D		D		1
2		D		D		1
3		D		D		1



EXEMPLO: SÍNTESE DO CIRCUITO SEQUENCIAL

Entrada		Estado Atual		Próx. Estado		Saída
x1	x0	y1	y0	w1	w0	z
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1



ESCOLHA DO FLIP-FLOP

Transição de estados para FF JK

J	K	Q
0	0	Q_0
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'

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

ESCOLHA DO FLIP-FLOP

Transição de estados para FF

D

D	Q
0	0
1	1

Transição		Entrada
Q_n	Q_{n+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

EXEMPLO: DIVISÃO DA TABELA

Para simplificar a análise, podemos dividir a tabela de estados em duas

1. Tabela de Transição de estados

2. Tabela de Saída

- Máquina de moore: Contém apenas o estado atual para gerar a saída
- Máquina de mealy: Contém os estados atuais e as entradas para gerar a saída

EXEMPLO: TABELA DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS

Entrada		Estado Atual		Próx. Estado		FF-D
x1	x0	y1	y0	w1	w0	d1d0
0	0	0	0	0	0	00
0	1	0	0	0	1	01
1	0	0	0	0	0	00
1	1	0	0	0	0	00
0	0	0	1	0	1	01
0	1	0	1	0	1	01
1	0	0	1	1	0	10
1	1	0	1	0	0	00
0	0	1	0	1	0	10
0	1	1	0	0	1	01
1	0	1	0	0	0	00
1	1	1	0	1	1	11
0	0	1	1	1	1	11
0	1	1	1	1	1	11
1	0	1	1	1	1	11
1	1	1	1	1	1	11

EXEMPLO: SIMPLIFICANDO COM MAPAS DE KARNAUGH

$$D_1 = Y_1Y_0 + X'_1X'_0Y_1 + X_1X_0Y_1 + X_1X'_0Y_0$$

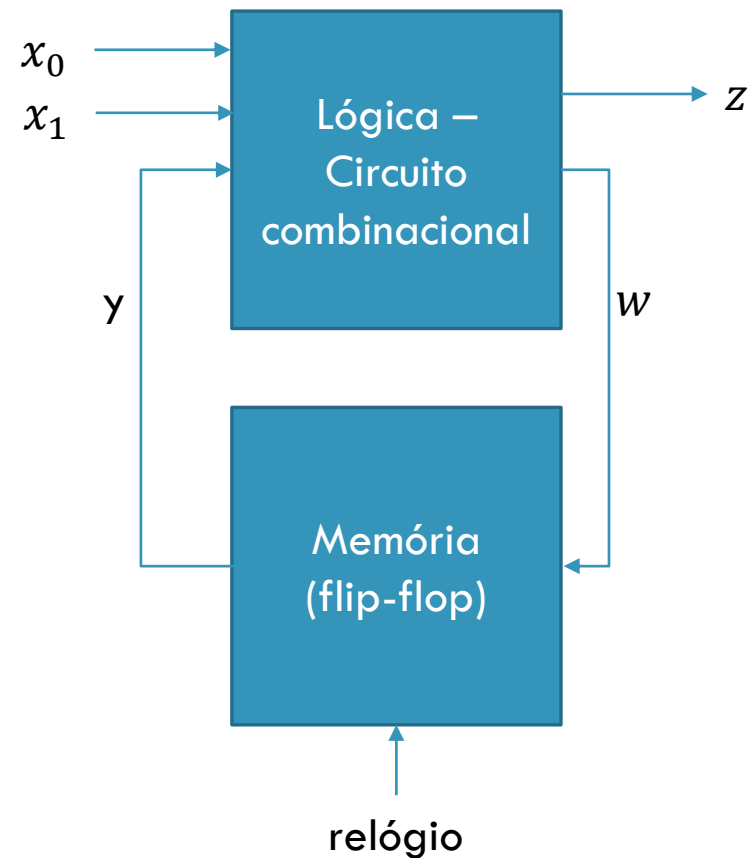
$$D_0 = Y_1Y_0 + X'_1X_0 + X_1X_0Y_1 + X'_1X'_0Y_0$$

EXEMPLO: TABELA DE SAÍDA

A Saída nunca depende do próximo estado

Máquina de Moore:

- A saída não depende da entrada
- A Saída só depende do estado atual



EXEMPLO: TABELA DE SAÍDA

Estado Atual				Saída
y1	y0			z
0	0			0
0	0			0
0	0			0
0	0			0
0	1			0
0	1			0
0	1			0
0	1			0
1	0			0
1	0			0
1	0			0
1	0			0
1	1			1
1	1			1
1	1			1
1	1			1



Estado Atual		Saída
y1	y0	z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$z = Y_1 Y_0$$

EXEMPLO: CIRCUITO FINAL

$$D_1 = Y_1 Y_0 + X'_1 X'_0 Y_1 + X_1 X_0 Y_1 + X_1 X'_0 Y_0$$

$$D_0 = Y_1 Y_0 + X'_1 X_0 + X_1 X_0 Y_1 + X'_1 X'_0 Y_0$$

$$Z = Y_1 Y_0 \quad \leftarrow \text{Saída}$$