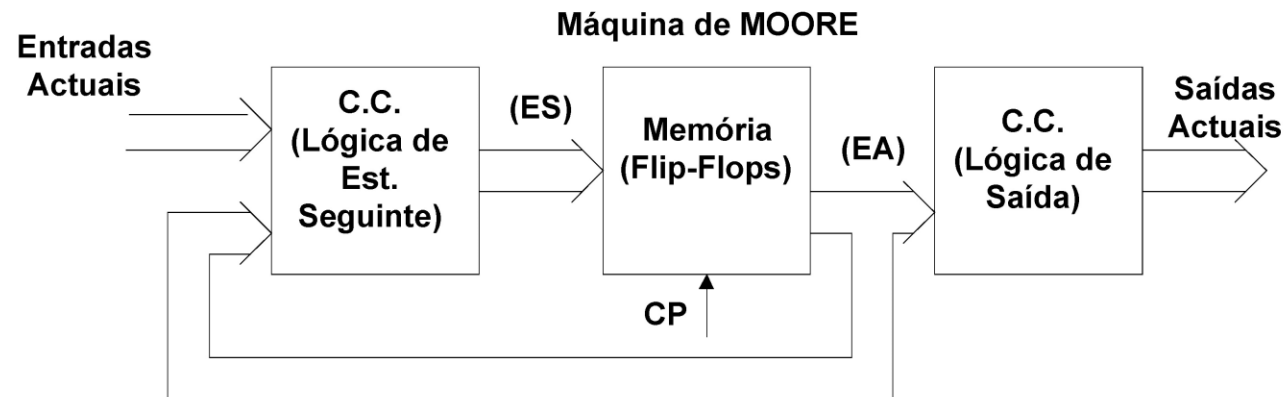


# **Síntese de Circuitos Sequenciais**

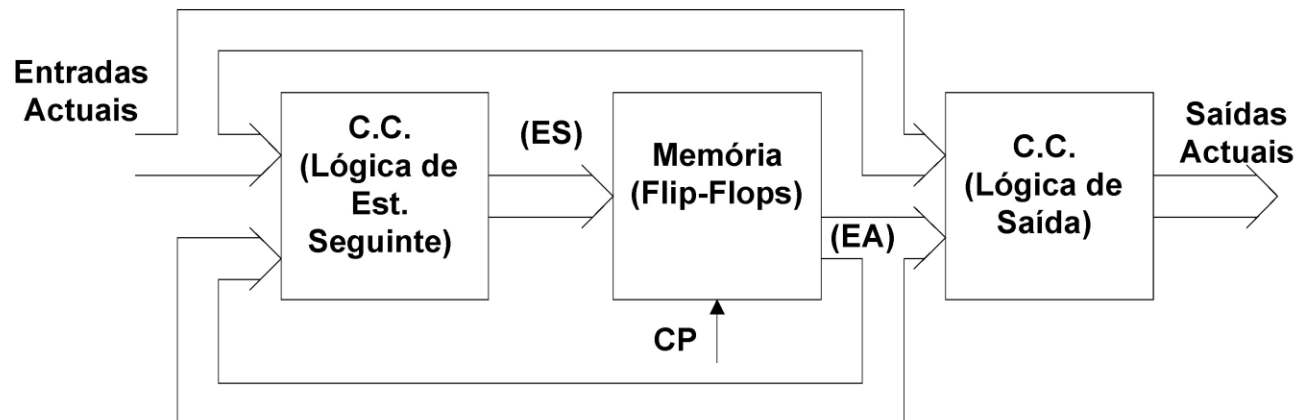


# Modelos de MOORE e MEALY

**Modelo de Moore:** Circuito no qual as saídas são função directa do estado.



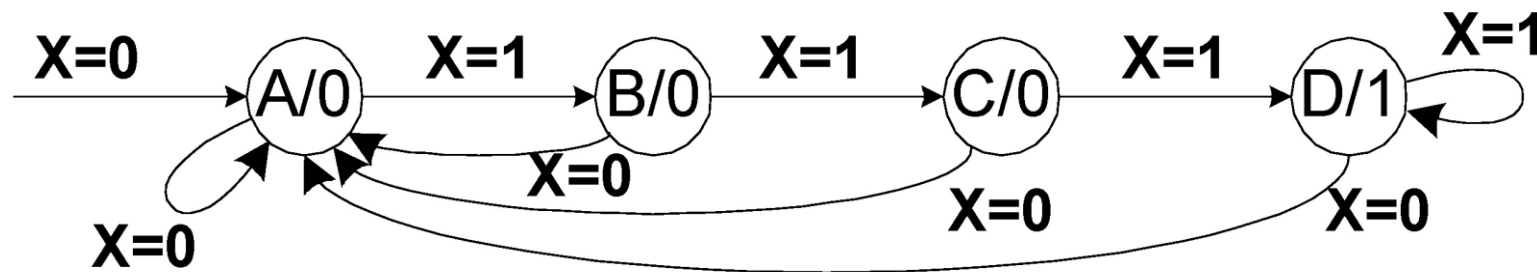
**Modelo de Mealy:** Circuito no qual as saídas são função do estado e das entradas.





## Máquina de MOORE

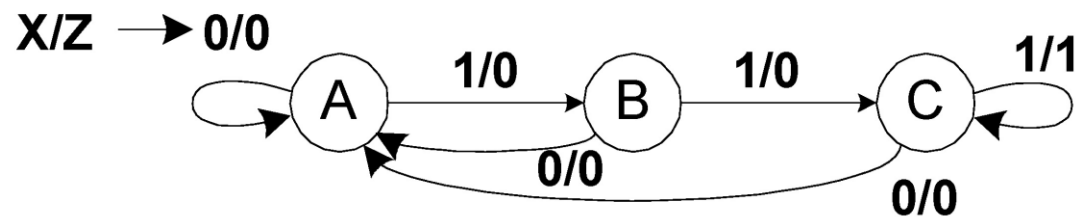
**Diagrama de Estados:** Cada estado é identificado através de um círculo com uma referência única e as saídas que lhe estão associadas. Cada transição entre estados é descrita através de um vector ao qual está associado o valor das entradas que conduzem a essa transição.





## Máquina de MEALY

O **diagrama de Estados** altera-se de acordo com a filosofia da máquina de Mealy, ou seja, a saída deixa de estar exclusivamente dependente do estado e daí a sua representação surgir, habitualmente, nos vectores correspondentes às transições entre estados onde se reflecte, também, a influência das entradas nessas saídas.





## Máquina de MEALY

Nas máquinas de MEALY o comportamento do circuito pode ser modelado com um número de estados inferior ao modelo de Moore. Normalmente surgem indiferenças suplementares nos mapas de Karnaugh que podem conduzir a uma maior simplificação da lógica associada à geração das entradas. Em contrapartida, a geração da saída será mais complexa



## Síntese de circuitos sequenciais

Tal como anteriormente referido, o processo de síntese consiste em projectar um circuito sequencial a partir de um determinado conjunto de especificações.

À semelhança do que se verificou para o processo de análise, também a síntese de um circuito sequencial é constituída por vários passos, os quais são apresentados em seguida.

### **1º passo** – Obter o diagrama de estados

Depois de compreendido o enunciado do problema (que contém as referidas especificações), o primeiro passo na síntese de um circuito sequencial, é desenhar o diagrama de estados.



## 2º passo – Obter a tabela de transição de estados

Depois de desenhado o diagrama de estados, obtém-se a **tabela de transição** de estados. Como habitualmente:

- Nas colunas da esquerda figuram o estado actual e as entradas;
- Nas colunas da direita figuram o estado seguinte e as saídas (correspondentes aos estado actual).

## 3º passo – Eliminar estados redundantes

Por vezes, num diagrama de estados (ou tabela de transição), verifica-se que alguns dos estados são equivalentes, o que permite realizar algumas simplificações.



Com efeito, se dois estados **A** e **B**, para todas as combinações das entradas tiverem saídas iguais e os estados seguintes forem os mesmos, então são o mesmo estado.

#### **4º passo** – Codificar os estados

Apesar de inicialmente se utilizarem letras para representar os **estados**, estes últimos não são mais do que o conjunto dos valores das saídas dos *Flip-Flops*. Por este motivo, há que atribuir-lhes valores binários → essa atribuição designa-se por **codificação de estados**.





Existem algumas regras que tendem a simplificar a implementação do circuito final, como sejam:

- **Regra 1:** Atribuir códigos adjacentes a estados que para as mesmas entradas têm o mesmo estado seguinte
- **Regra 2:** Atribuir códigos adjacentes a estados que são estados seguintes do mesmo estado. Se possível fazer coincidir a parte da codificação que varia com o valor da entrada que provoca a chegada a esse estado

**5º passo** – Obter a tabela de transição com estados codificados

Substituir na tabela de transição anterior as letras que representavam os estados pelos respectivos códigos binários.



**6º passo** – Determinar as funções de excitação dos *Flip-Flops* (*Descodificador de Estado Seguinte*) e as funções lógicas das saídas (*Descodificador de Saída*) na forma simplificada

Esta simplificação faz-se mediante a utilização de mapas de Karnaugh.

**7º passo** – Desenhar o diagrama lógico do circuito

### Exemplo

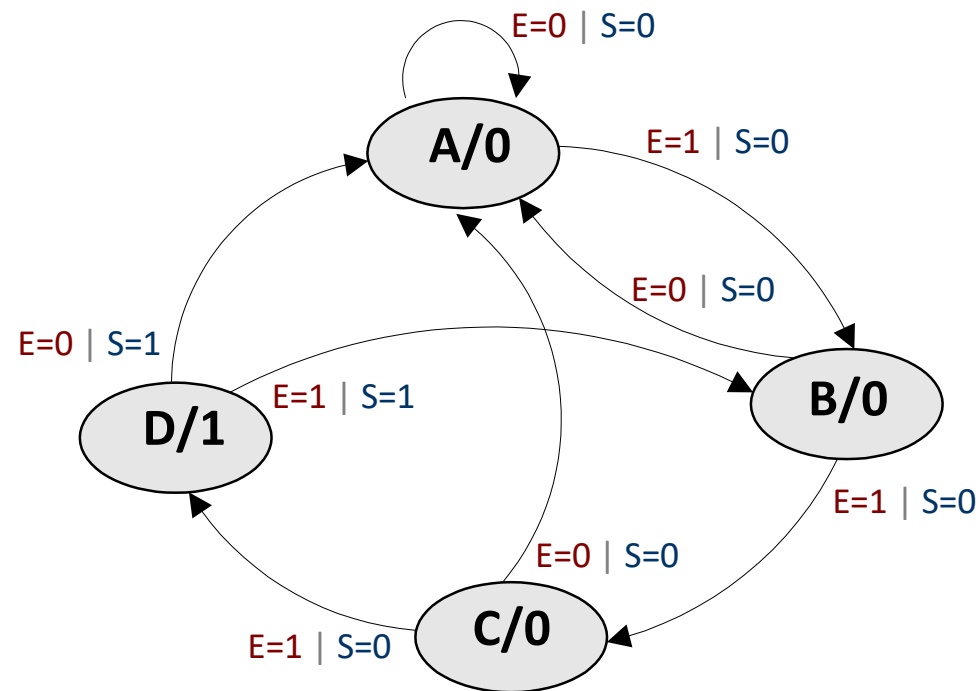
Pretende-se implementar um circuito que detecte uma sequência de três 1's na sua entrada **E**, ao longo de três impulsos consecutivos de relógio.

Se tal acontecer, o circuito deve produzir de imediato uma saída **S=1** que deverá manter-se até surgir o quarto impulso do relógio. Nesta altura o circuito deverá reiniciar a detecção de nova sequência.



## 1º – Diagrama de estados (**MOORE**)

Estado	O que representa:
<b>A</b>	Ainda não foi detectado nenhum 1
<b>B</b>	Foi detectado um 1
<b>C</b>	Foram detectados dois 1s
<b>D</b>	Foram detectados três 1s



**2º – Tabela de transição de estados**

<b>Estado actual</b>	<b>Entrada E</b>	<b>Estado Seguinte</b>	<b>Saída S</b>
A	0	A	0
A	1	B	0
B	0	A	0
B	1	C	0
C	0	A	0
C	1	D	0
D	0	A	1
D	1	B	1



### 3º – Eliminar estados redundantes

Não existem estados redundantes uma vez que, apesar de **A** e **D** terem os mesmos estados seguintes para os mesmos valores da entrada, têm saídas diferentes.

### 4º – Codificar os estados

**A** e **D** são estados que para as mesmas entradas têm estados seguintes iguais. Pela regra 1 devem ter códigos adjacentes.

**A** e **B** são estados seguintes do mesmo estado, assim como **A** e **C**, e **A** e **D**. Pela regra 2 devem ter códigos adjacentes entre si.

Com **A**=00, **B**=01, **C**=10 e **D**=11, consegue-se que **A** e **B** sejam adjacentes, e **A** e **C** também (mas já não se consegue que **A** seja adjacente a **D**).



## 5º – Tabela de transição com estados codificados

Através do estado actual e do estado seguinte pretendido, determinam-se os valores a aplicar às entradas J e K dos Flip-Flops (*consultando tabela de excitação do JK*).

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

Estado actual $Q_B^n \quad Q_A^n$		Entrada E	Entrada dos FFs:				Estado Seguinte $Q_B^{n+1} \quad Q_A^{n+1}$		Saída S
			$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$			
0	0	0	0	X	0	X	0	0	0
0	0	1	0	X	1	X	0	1	0
0	1	0	0	X	X	1	0	0	0
0	1	1	1	X	X	1	1	0	0
1	0	0	X	1	0	X	0	0	0
1	0	1	X	0	1	X	1	1	0
1	1	0	X	1	X	1	0	0	1
1	1	1	X	1	X	0	0	1	1



**6º** – Funções de excitação dos *Flip-Flops* e funções lógicas das saídas na forma simplificada

● *Descodificador de Estado Seguinte*

Recorrendo a mapas de Karnaugh, obtêm-se as funções lógicas aplicadas às entradas dos Flip-Flops na forma pretendida:

$J_B$

	$Q_A$			
	0	0	1	0
$Q_B$	X	X	X	X
	$E$			

$$J_B = Q_A \cdot E$$

$K_B$

	$Q_A$			
	X	X	X	X
$Q_B$	1	0	1	1
	$E$			

$$K_B = Q_A + \bar{E}$$



$J_A$

		$Q_A$			
		0	1	X	X
$Q_B$		0	1	X	X
		$E$			

$$J_A = E$$

$K_A$

		$Q_A$			
		X	X	1	1
$Q_B$		X	X	0	1
		$E$			

$$K_A = \bar{Q}_B + \bar{E}$$

### ● *Descodificador de Saída*

A função lógica da saída obtém-se da mesma forma:

$S$

		$Q_A$			
		0	0	0	0
$Q_B$		0	0	1	1
		$E$			

$$S = Q_A \cdot Q_B$$



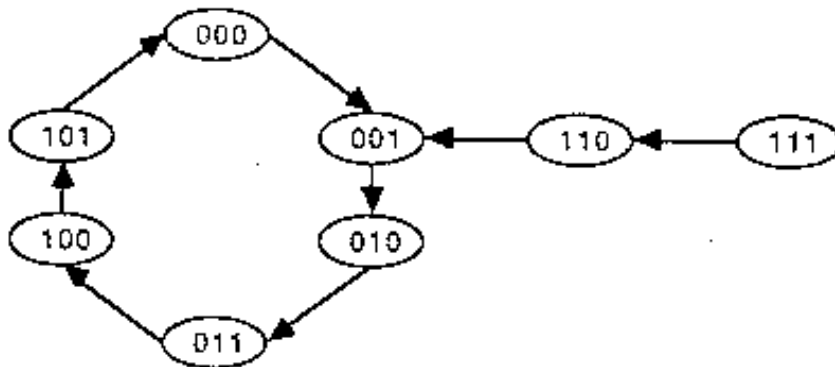




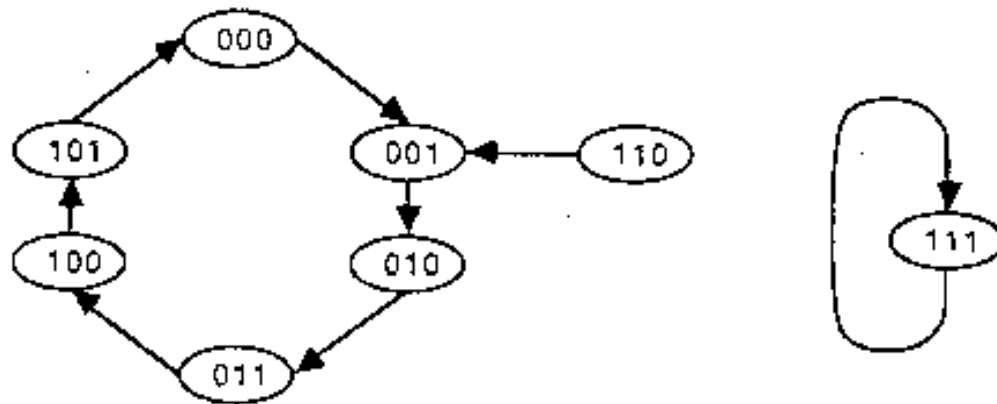
## Auto-Correção

No caso dos circuitos em que o número de *Flip-Flops* possibilita mais estados do que os efectivamente usados na sequência principal, tem que haver um método que garanta que um estado dessa sequência é sempre alcançado.

O processo de **auto-correção** consiste em projectar o circuito de modo a que um estado da sequência principal seja atingido ao fim de **x** impulsos de relógio.



*Circuito auto-corrector*



*Circuito não auto-corrector.*

Para projectar um **circuito auto-corrector** existem duas hipóteses:

**1ª:** Logo à partida, desenhar um Diagrama de Estados (e respectiva Tabela de Transição) em que aos estados não pertencentes à sequência principal se faz corresponder um estado seguinte que pertença a essa mesma sequência.

*A solução anterior não é óptima porque se está a obrigar cada estado a evoluir, de forma aleatória, para um determinado estado seguinte, apenas com*



*o intuito de garantir uma entrada na sequência principal. → O circuito Descodificador de Estado Seguinte pode ser bastante mais complexo.*

**2<sup>a</sup>** (a mais adequada): Desenhar o diagrama de estados e verificar a existência de ciclos indesejáveis (sequências fechadas que não a principal).

Caso existam, substituir alguns **X** por **0**'s e **1**'s num dos Mapas de Karnaugh usados para sintetizar o Descodificador de Estado Seguinte, de modo a que um ou vários estados “excedentes” passem a evoluir para um estado da sequência principal.

Feita esta alteração, verificar o que acontece aos outros estados excedentes. Eventualmente, como consequência das alterações anteriores, todos poderão estar já “corrigidos”. Se isso não acontecer, voltar ao primeiro passo e repetir o procedimento.