

PCS 3115 – Sistemas Digitais I

Circuitos Sequenciais: Registradores e Contadores

EAD – Ensino A Distância

Parte IV: Contadores Síncronos – Exercícios.

Aula: 22 – Data: 08/06 (S)

Prof. Dr. Marco Túlio Carvalho de Andrade

versão: 2.0 (Maio/2020)

Contadores

- **Conceito** – Grupos de Flip-Flops acionados por sinal comum de *clock*, que permanecem mudando de estado de acordo com uma sequência pré-estabelecida:
 - Dispensa, às vezes, outros tipos de sinais de entrada – Máquina de *Moore* (só o sinal de clock como uma pseudo-entrada)
 - Basicamente – Circuito Sequencial síncrono que possui uma sequência principal de **transição de estados cíclica, pré-definida.**

Contadores

Funções & Usos

- Contagens diversas;
- Geração de sequência de sinais de controle;
- **Divisão de frequência;**
- Medição de frequência;
- **Geração de formas de onda específicas (quadrada, por exemplo);**
- Conversão analógico-digital.

Contadores

- **Síncronos** – Para todos os Flip-Flops:
 - ✓ O *clock* é o mesmo sinal físico;
 - ✓ As saídas (estados) são atualizadas no mesmo instante (mesma borda de subida ou descida).

Contadores Síncronos

- Divisor da frequência do *clock* pelo módulo ($M = \text{número de Estados}$) de sua sequência de contagem – Sinal disponível na saída mais significativa do contador Q_n :

$$f_{\text{SAÍDA}} = (f_{\text{CLOCK-ENTRADA}}) / M$$

- Se a sequência for contínua:

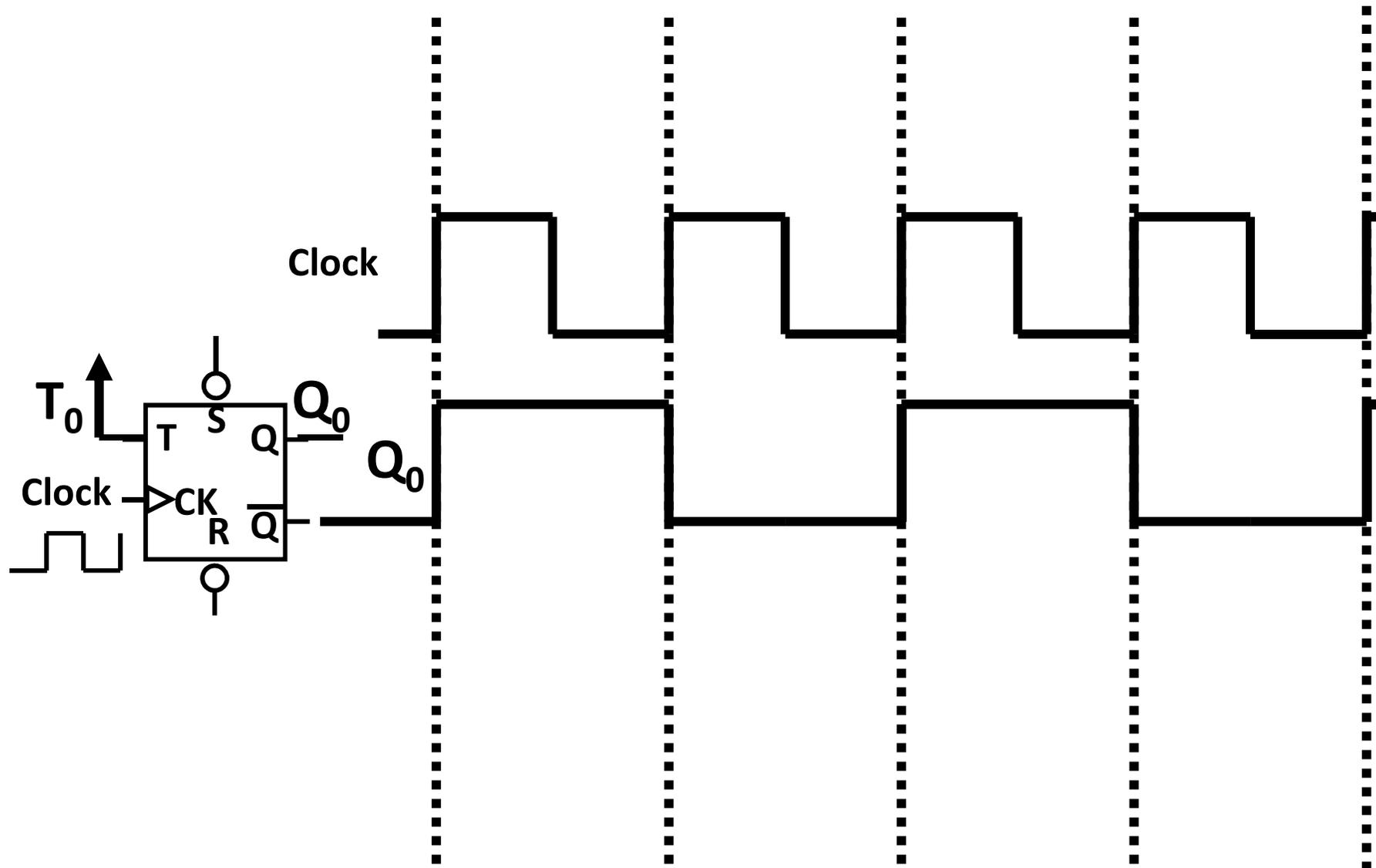
$$M = \text{Estado}_{\text{FINAL}} - \text{Estado}_{\text{INICIAL}} + 1$$

Contadores Síncronos

- Contadores Síncronos – Alternativas de síntese.
- Alternativa 1 – Inspirado na síntese de contadores assíncronos.

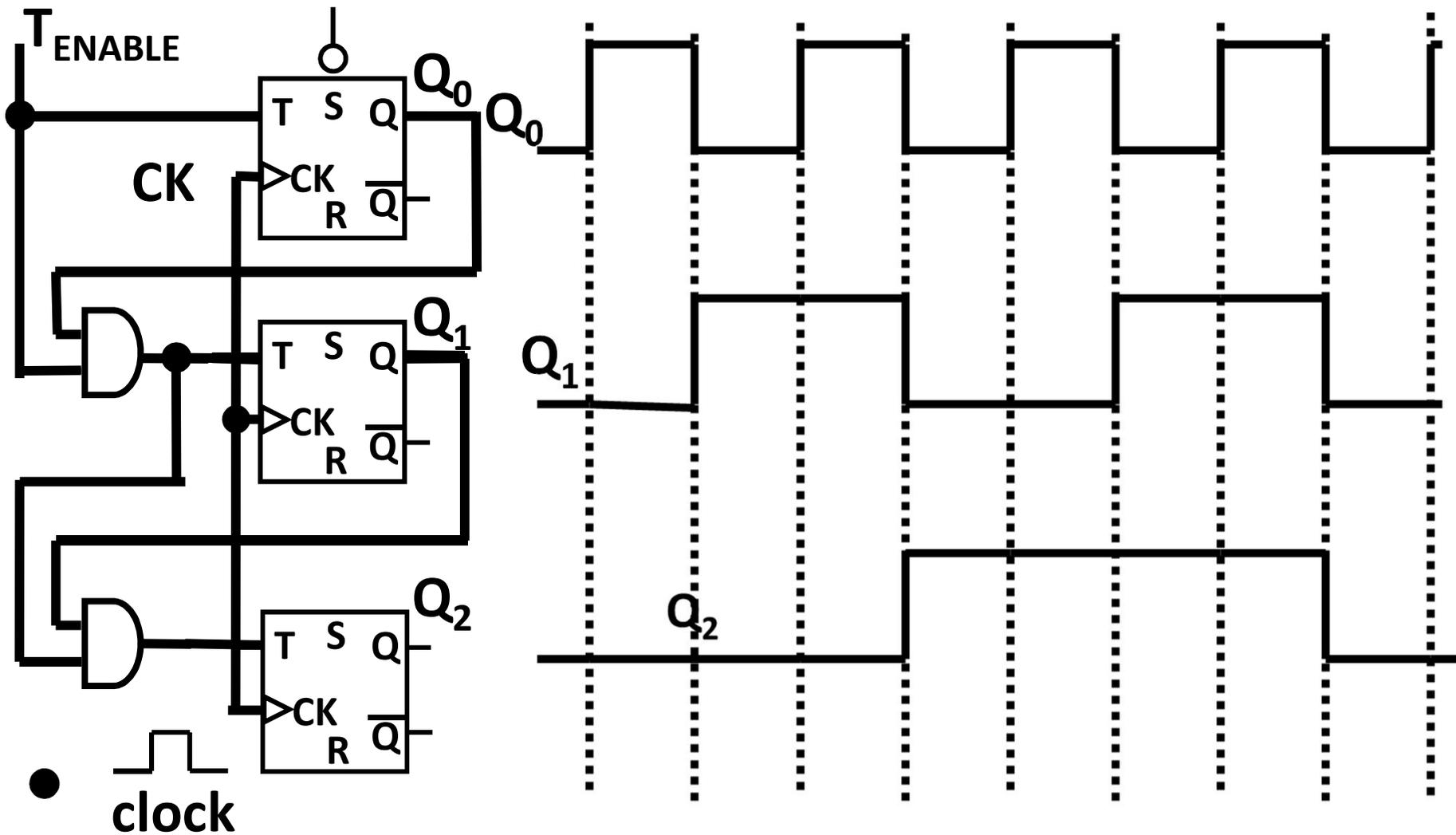
Contadores Síncronos

FF tipo T – Configuração divisor por 2 – Onda quadrada



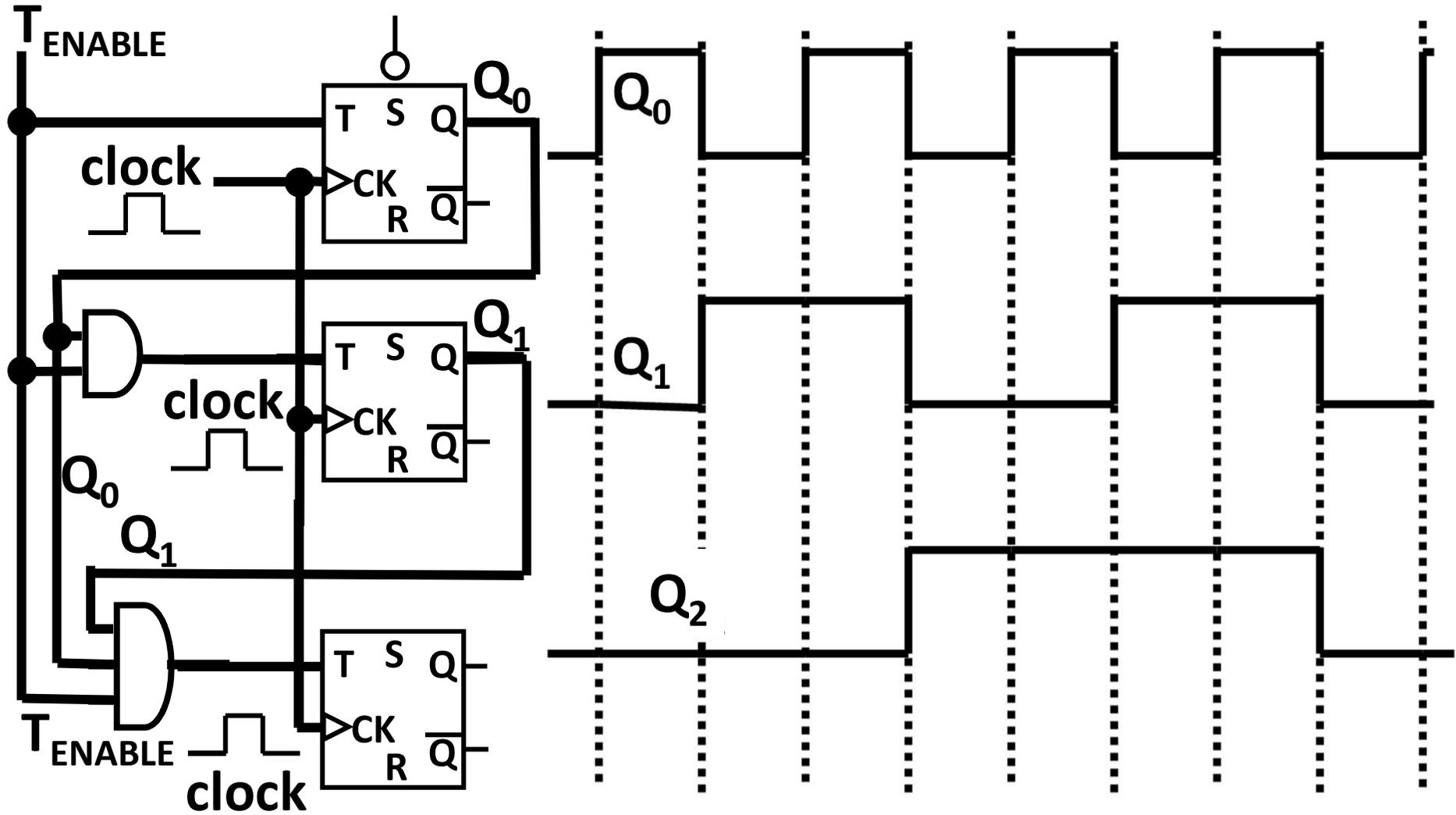
Contador Síncrono – Divisor por 8 (Saída em Q_2 , onda quadrada)

Lógica de *ENABLE* serial – Mais lento



Contador Síncrono – Divisor por 8 (Saída em Q_2 , onda quadrada)

Lógica de *ENABLE* paralela – Mais rápido

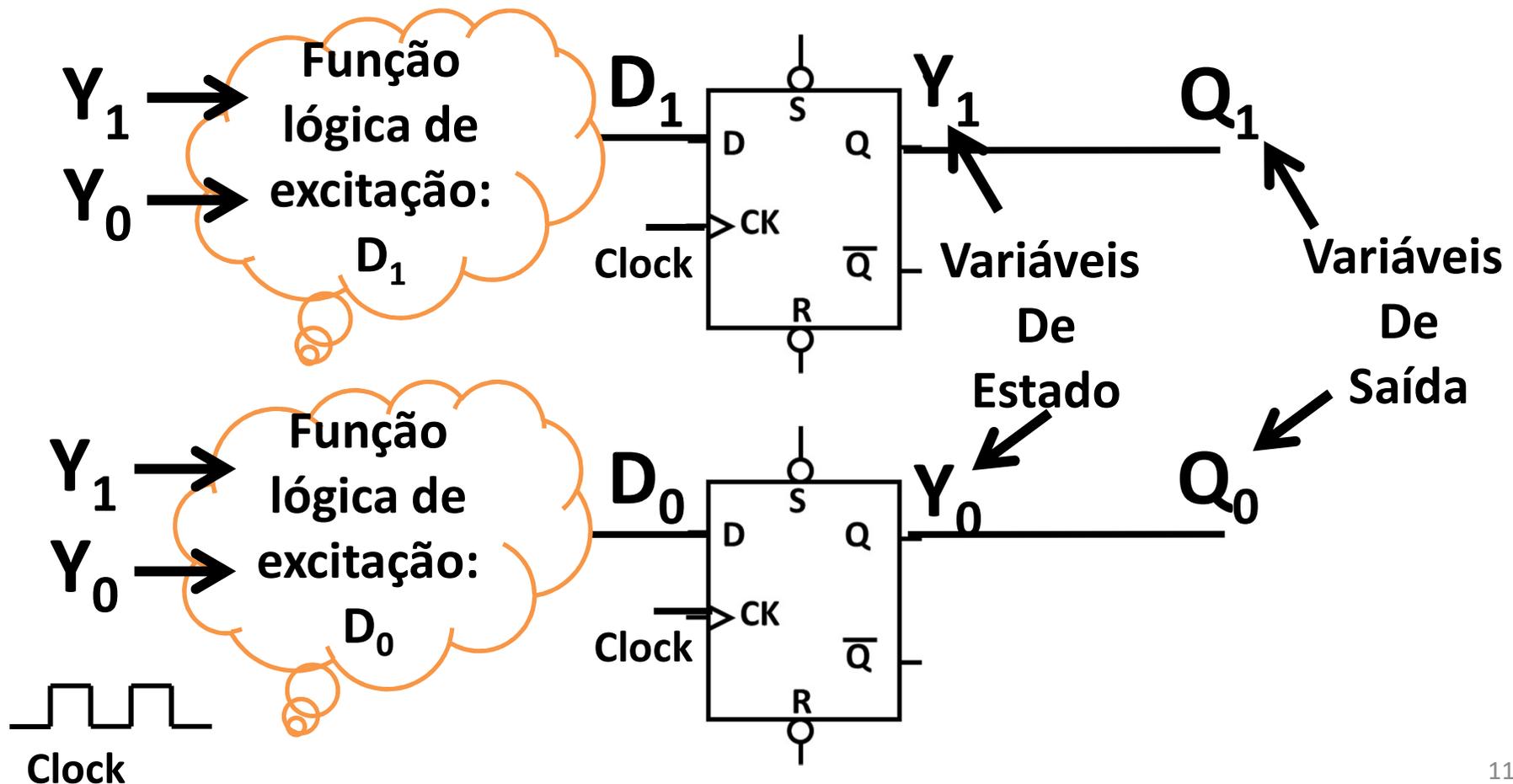


Contadores Síncronos

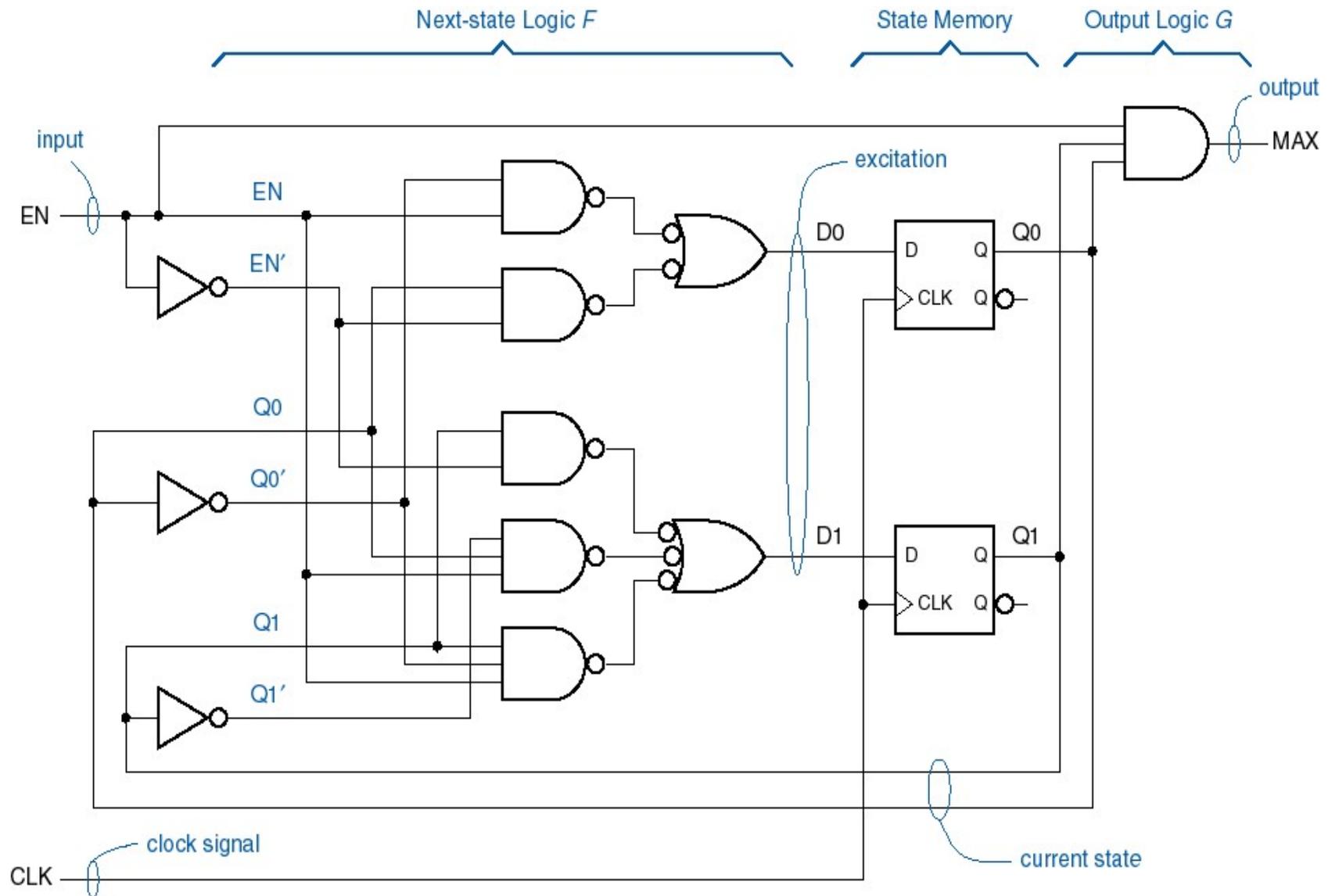
- Contadores Síncronos – Alternativas de síntese.
- Alternativa 2 – Inspirado na síntese de FSMs.

Contadores Síncronos

- *Finite State Machines* – FSMs – Representação possível.



1. Circuitos Lógicos Seqüenciais



Contadores Síncronos

- Contadores Síncronos – Alternativas de síntese.
- Alternativa 3 – Inspirado na síntese a partir de módulos de contadores síncronos prontos, utilizados como blocos elementares de projeto (como fizemos com blocos de circuitos combinatórios).

Contadores – Geração de Onda Quadrada

- **Problema** – Gerar onda quadrada com frequência menor do que clock original
- Por que quadrada?
 - Reduz nível DC do sinal
 - Transmissão de sinais – Diminui perdas;
 - Conversão digital-analógico – Previne saturação de capacitores;
 - Aplicações diversas – Qualquer luz piscante em que o tempo total da luz apagada é igual ao tempo total da luz acesa ...

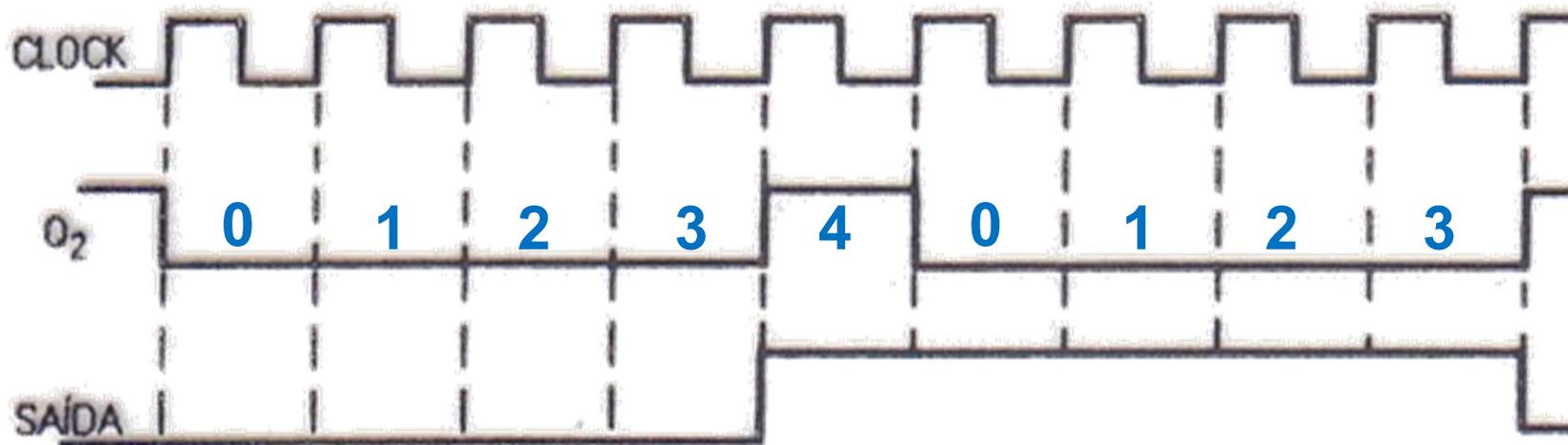
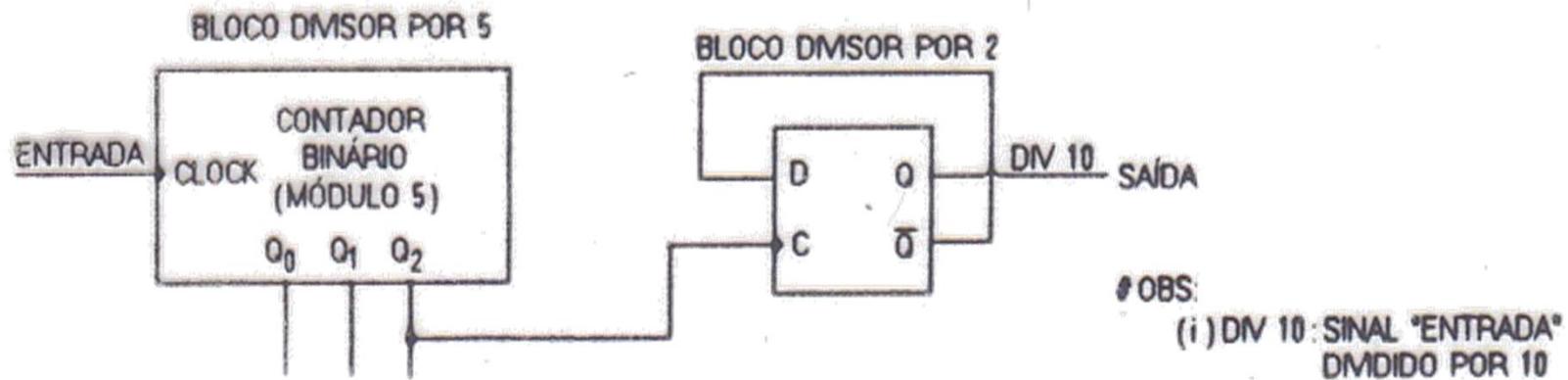
Contadores – Geração de Onda Quadrada

- **Problema** – Gerar onda quadrada com frequência menor do que clock original.
- **Sub-problema 1** – Divisão por **número par**
- Solução possível – Associação já discutida...
 - Contador módulo $n/2$, que não precisa ser gerador de onda quadrada.
 - Saída mais significativa usada como *clock* para Flip-Flop em configuração divisor por 2.
 - Pode ser borda de subida ou descida

$$f_{\text{CK-SAÍDA}} = [f_{\text{CK-ENTRADA}} / (n/2)] \cdot 1/2$$

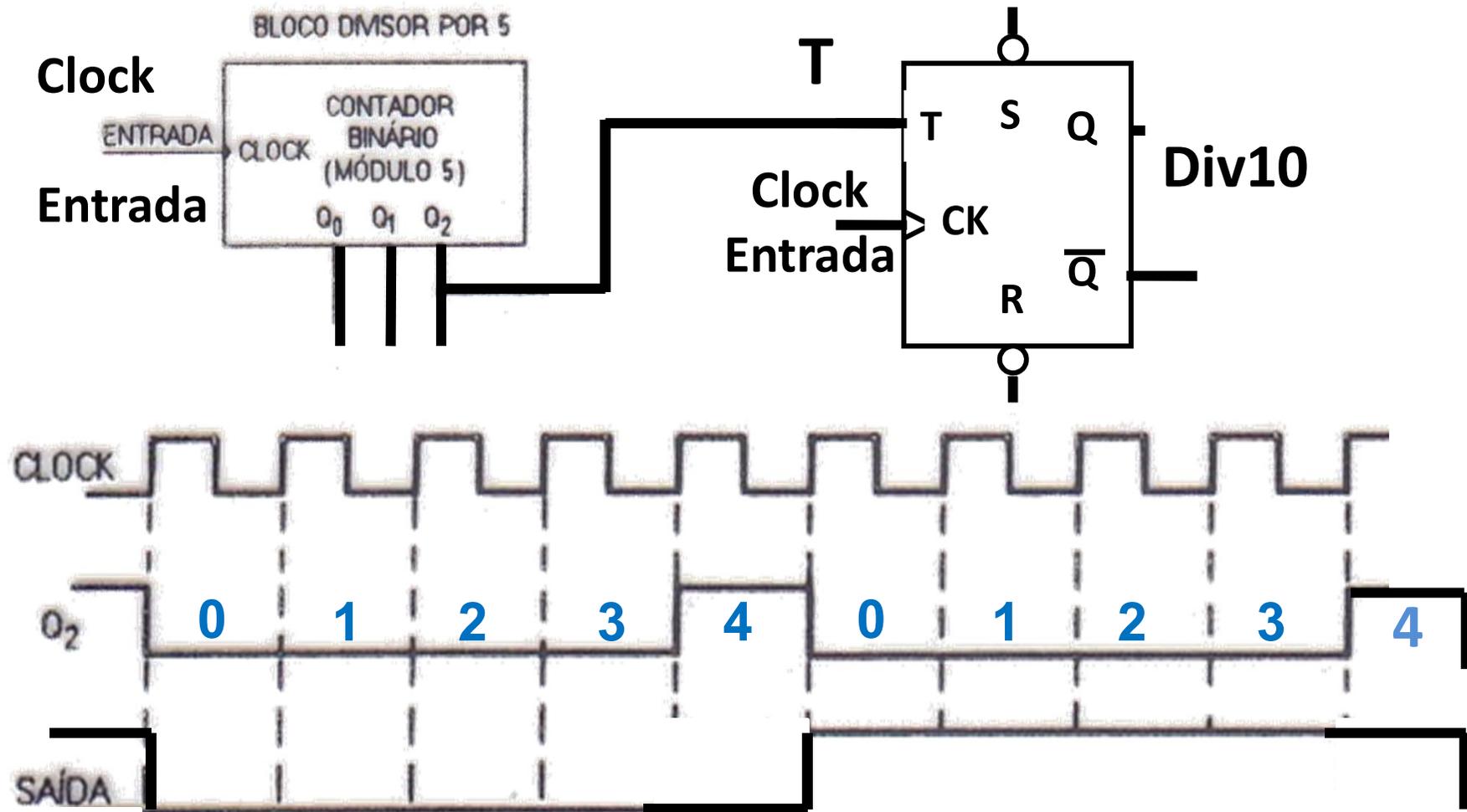
Contadores – Geração de Onda Quadrada

- Para divisão por número par:



Contadores – Geração de Onda Quadrada

- Divisão por número par – Alternativa com sinal em fase:

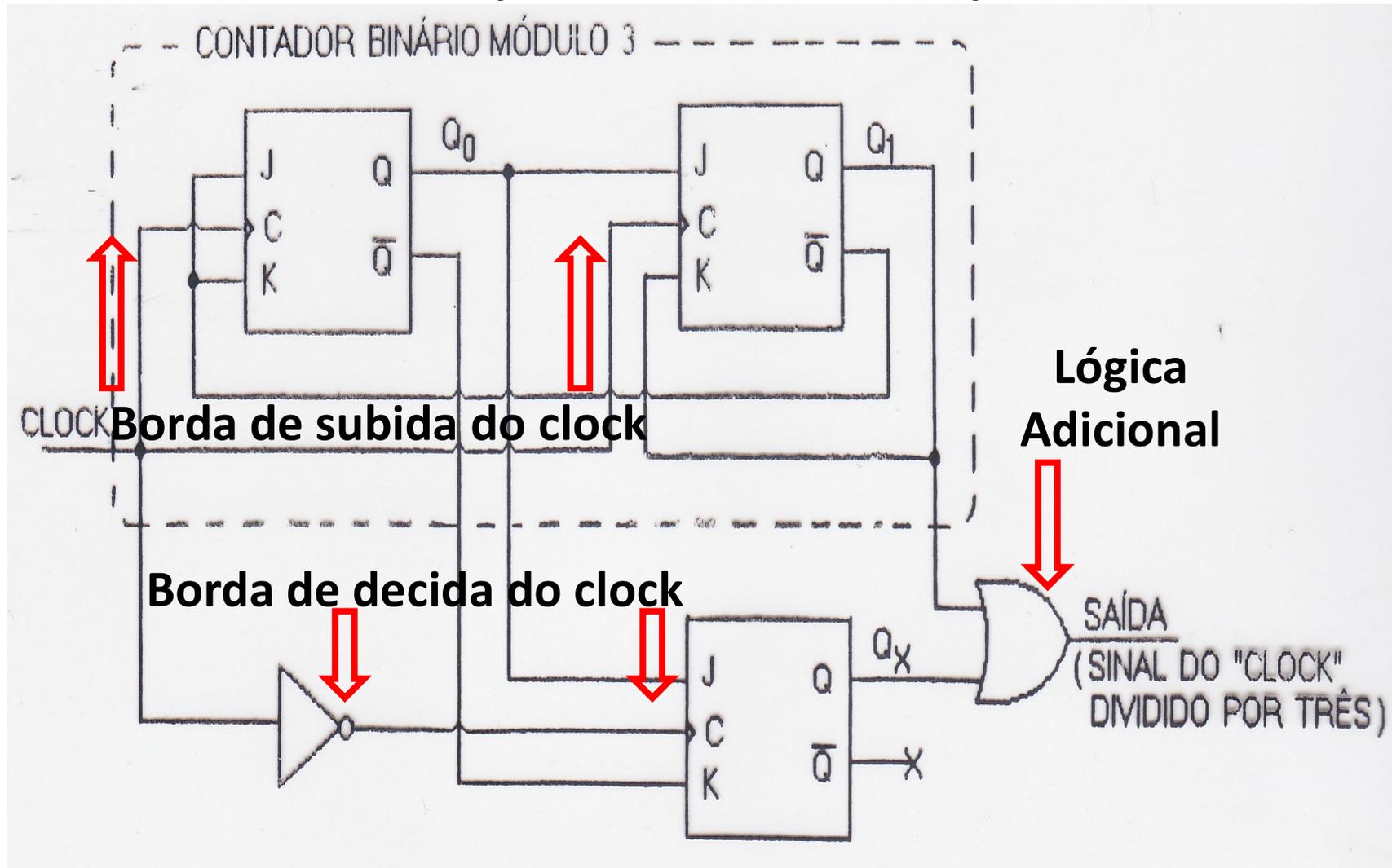


Contadores – Geração de Onda Quadrada

- Para divisão por número ímpar
 - Sub-problema 2:
- São necessárias mudanças, dentro do contador, tanto na borda de subida como de descida, associadas a lógica adicional, para que se possa gerar a onda quadrada na saída.

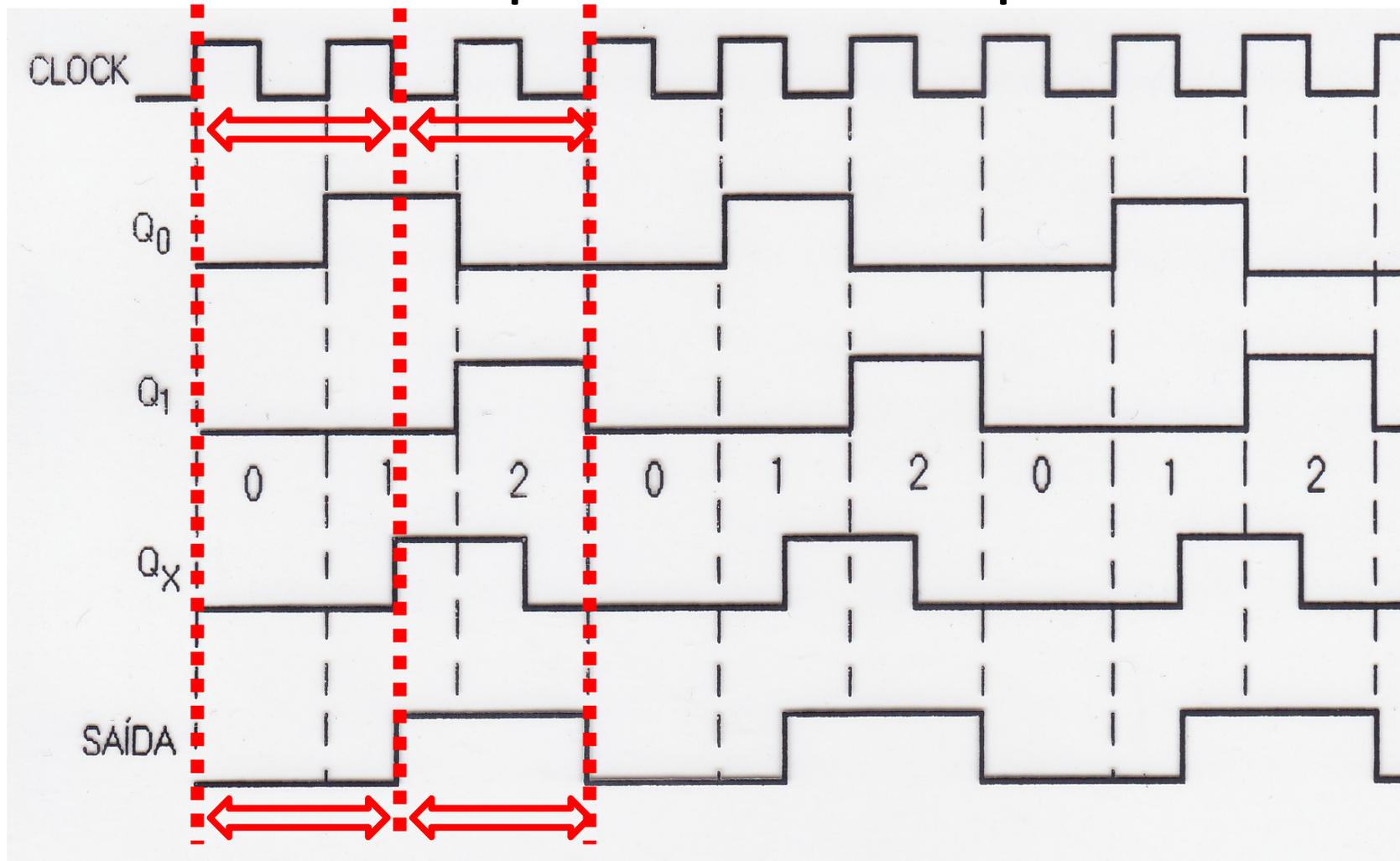
Contadores – Geração de Onda Quadrada

- Para divisão por número ímpar:



Contadores – Geração de Onda Quadrada

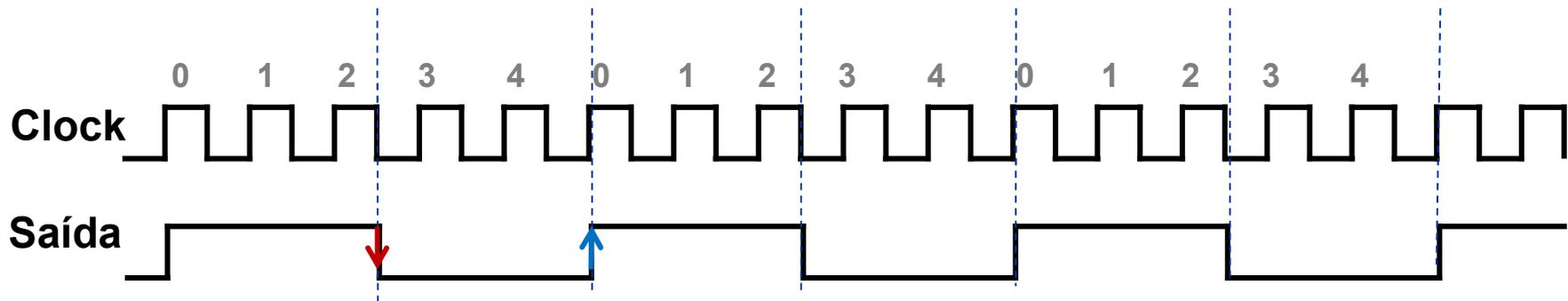
- Para divisão por número ímpar:



$$1 \frac{1}{2} T_{\text{clock}} + 1 \frac{1}{2} T_{\text{clock}} = 3 T_{\text{clock}}$$

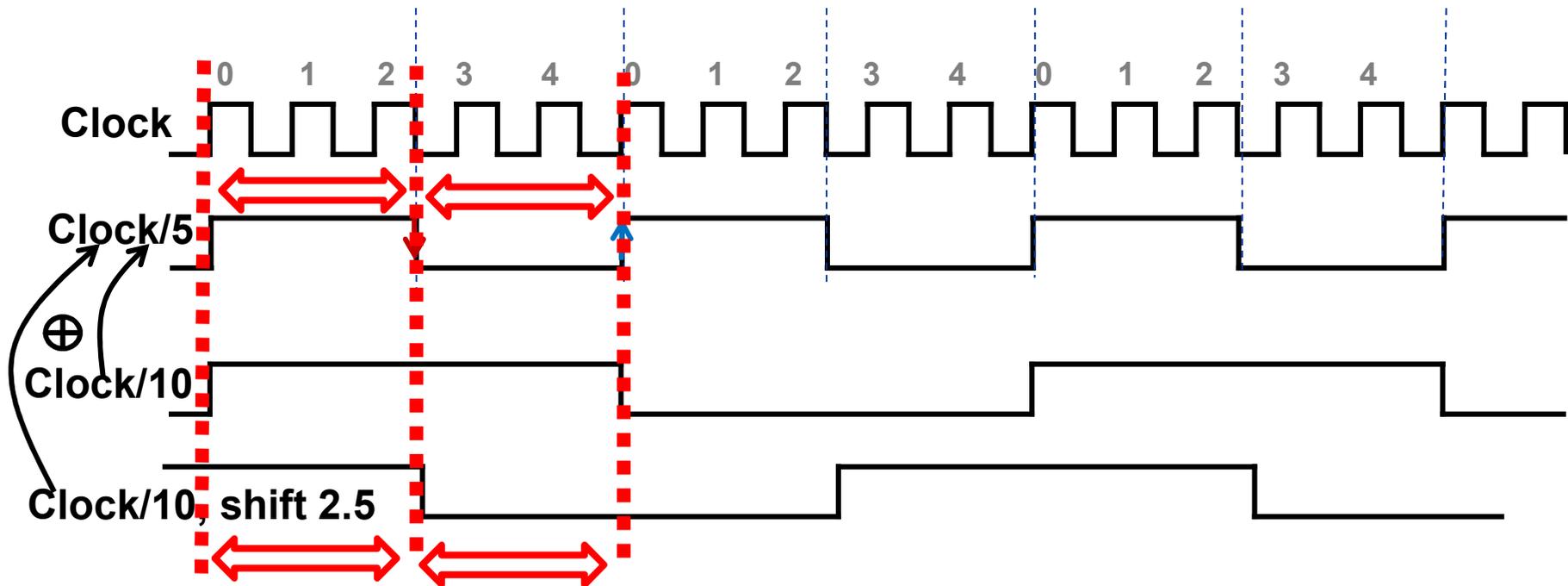
Contadores – Geração de Onda Quadrada

- **Problema** – Gerar onda quadrada com frequência menor do que clock original
- **Sub-problema 2** – Divisão por **número ímpar**, mais um exemplo (divisão por 5):



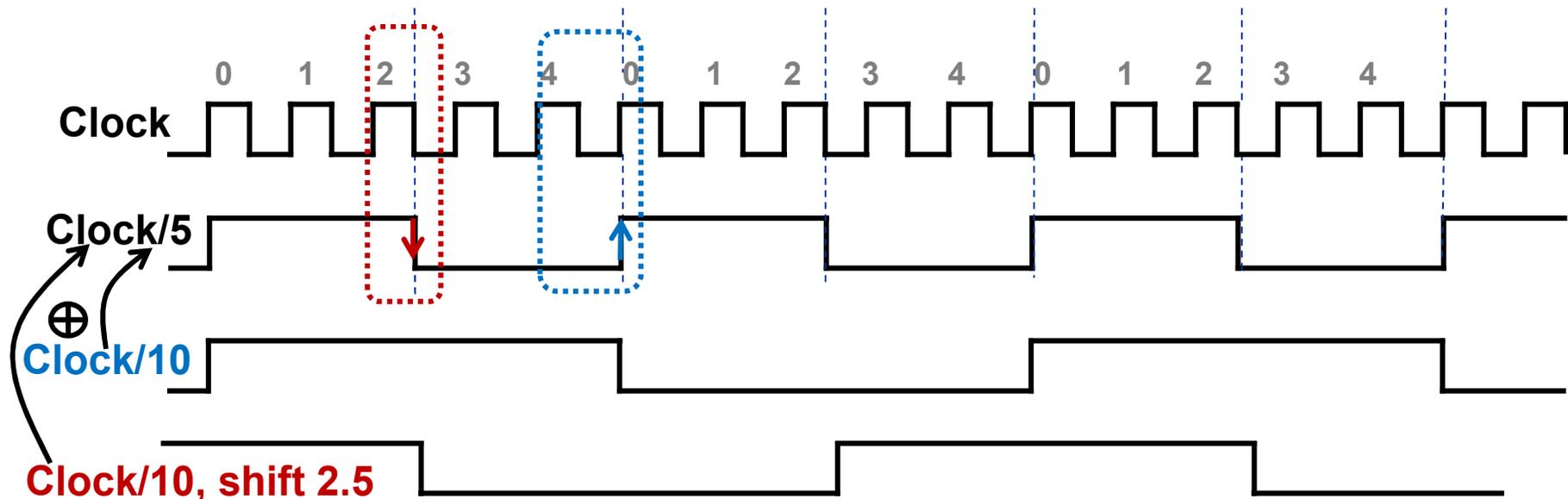
Contadores – Geração de Onda Quadrada

- **Problema** – Onda quadrada, divisão por $n = 5$ (ímpar).
- **Ideia** – Sabemos dividir por $2n = 10$ com onda quadrada ($5 \cdot 2$):
 - Podemos deslocar essa onda para sua transição aparecer após no “ $n/2 = 2.5$ clock”, nas bordas de descida;
 - Agora basta um XOR ou XNOR entre esses dois sinais!



Contadores – Geração de Onda Quadrada

- **Problema:** onda quadrada, divisão por $n = 5$ (ímpar)



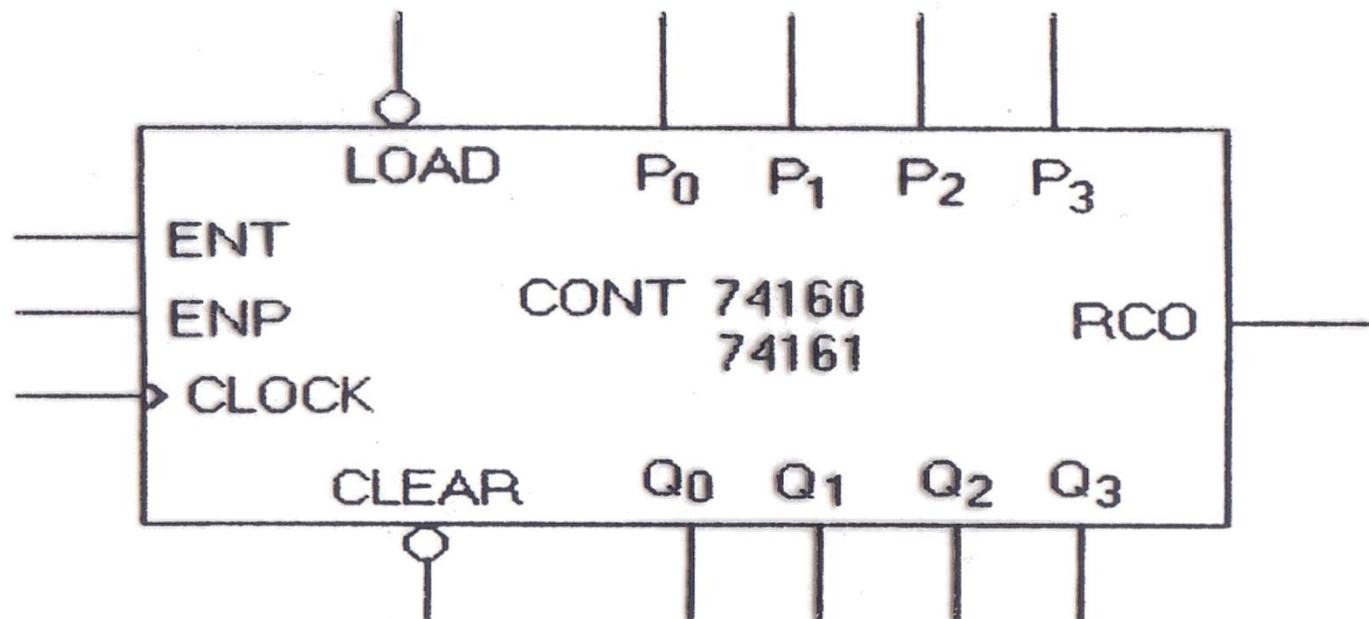
- Ideia:
 - Sabemos dividir por $2n=10$ com onda quadrada ($5*2$)
 - Basta fazer a inversão ao detectar $n-1$, com borda de subida
 - E podemos deslocar essa onda para sua transição aparecer após no “2,5 clock”, nas bordas de descida
 - Inverter Flip-Flop ao detectar $n/2 = 2$ e for borda de descida

Contadores – Geração de Onda Quadrada

- Uma estratégia para divisão por n ímpar:
 - **Bloco A**: um **contador módulo n** ativo na **borda de subida**
 - **Bloco B**: um **detector** ativado quando a saída do Bloco A for $\lfloor n/2 \rfloor$, ligado a um **Flip-Flop tipo T** ativo na **borda de descida**
 - **Bloco C**: um **detector** ativado quando a saída do Bloco A for $n-1$, ligado a um **Flip-Flop tipo T** ativo na **borda de subida**
 - **Saída**: operação de “**XOR**” ou “**XNOR**” entre a saída dos blocos **B e C**

Contadores Síncronos – Associação em Cascata

- 74160 – Contador módulo 10, sequência BCD.
- 74161 – Contador binário (hexadecimal), módulo 16, *Clear* assíncrono:
 - ENT e ENP – Enable;
 - RCO – *Ripple carry out*.



Contadores Síncronos – Associação em Cascata

ENTRADAS					FUNÇÃO ASSOCIADA	EFEITO
$\overline{\text{CLEAR}}$	$\overline{\text{LOAD}}$	ENP	ENT	CLOCK		$Q_0 - Q_3$
0	X	X	X	X	ANULA	0 - 0
1	0	X	X	↑	CARREGA	$P_0 - P_3$
1	1	0	X	X	INIBE	$Q_0 - Q_3$
1	1	X	0	X	INIBE	$Q_0 - Q_3$
1	1	1	1	↑	CONTA	$(Q_0 - Q_3)_{n+1}$

OBS Nº1:

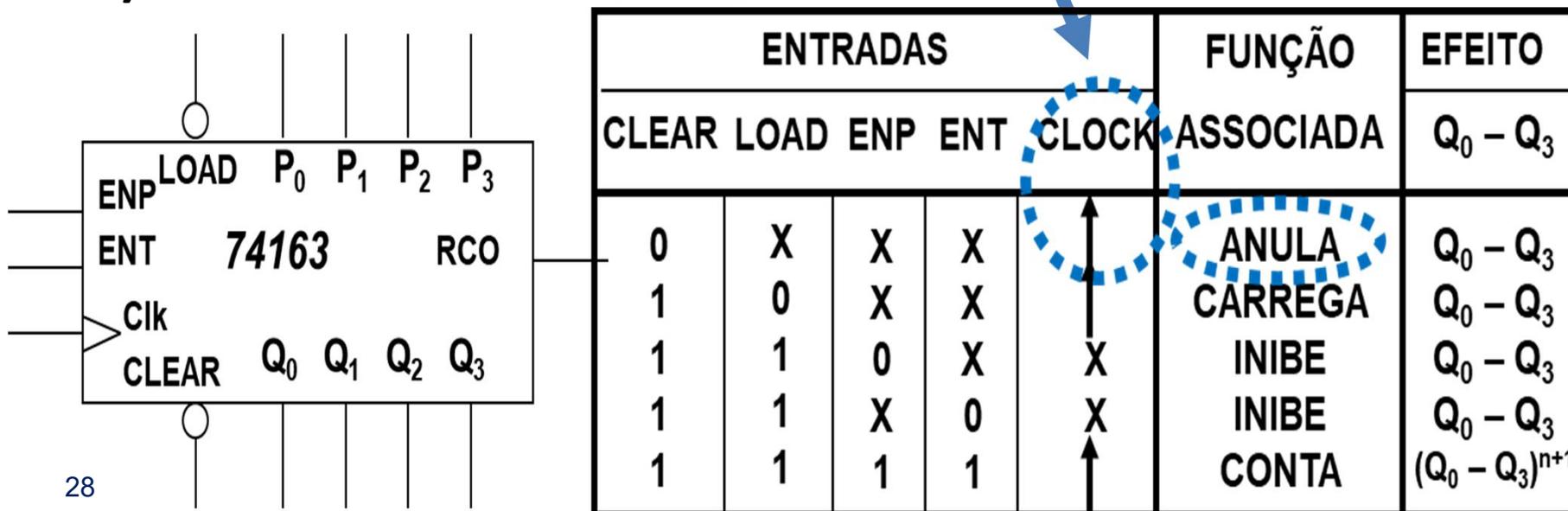
(i) 7416*: CONTADORES 74160 OU 74161

Decimal: (ii) 74160 : $\text{RCO} = Q_0 \cdot \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2} \cdot Q_3$. ENT **Inibe**

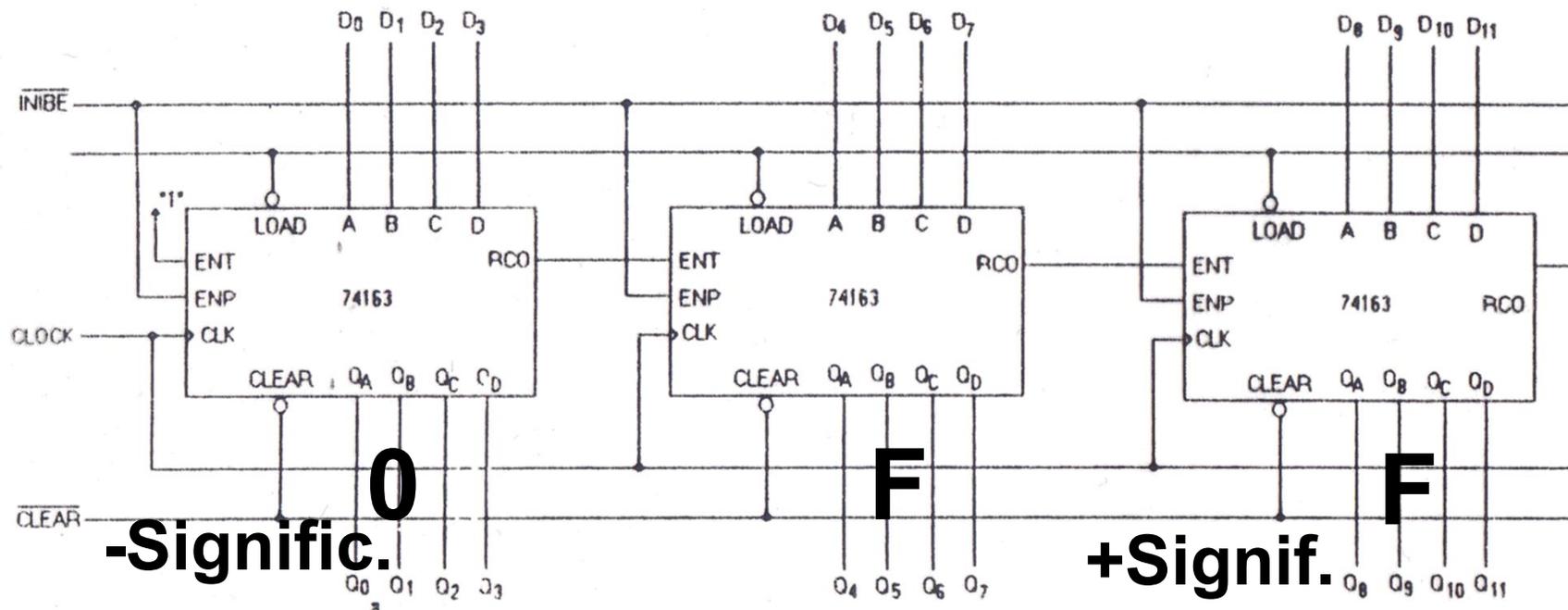
Hexa: (iii) 74161 : $\text{RCO} = Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3$. ENT **RCO**

Contadores Síncronos – Exercício

- Projetar **contador módulo 11** (conta dos Estados 0 até 10) utilizando um contador 74163.
- **1) 74163: Contador módulo 16 (hexadecimal), sequência binária, com clear síncrono;**
- **2) RCO: “Ripple Carry Out”;**
- **3) ENT: “Enable Trickle Input”;**
- **4) ENP: “Enable Parallel Input”;**
- **5) RCO = Q0 . Q1 . Q2 . Q3 . ENT**

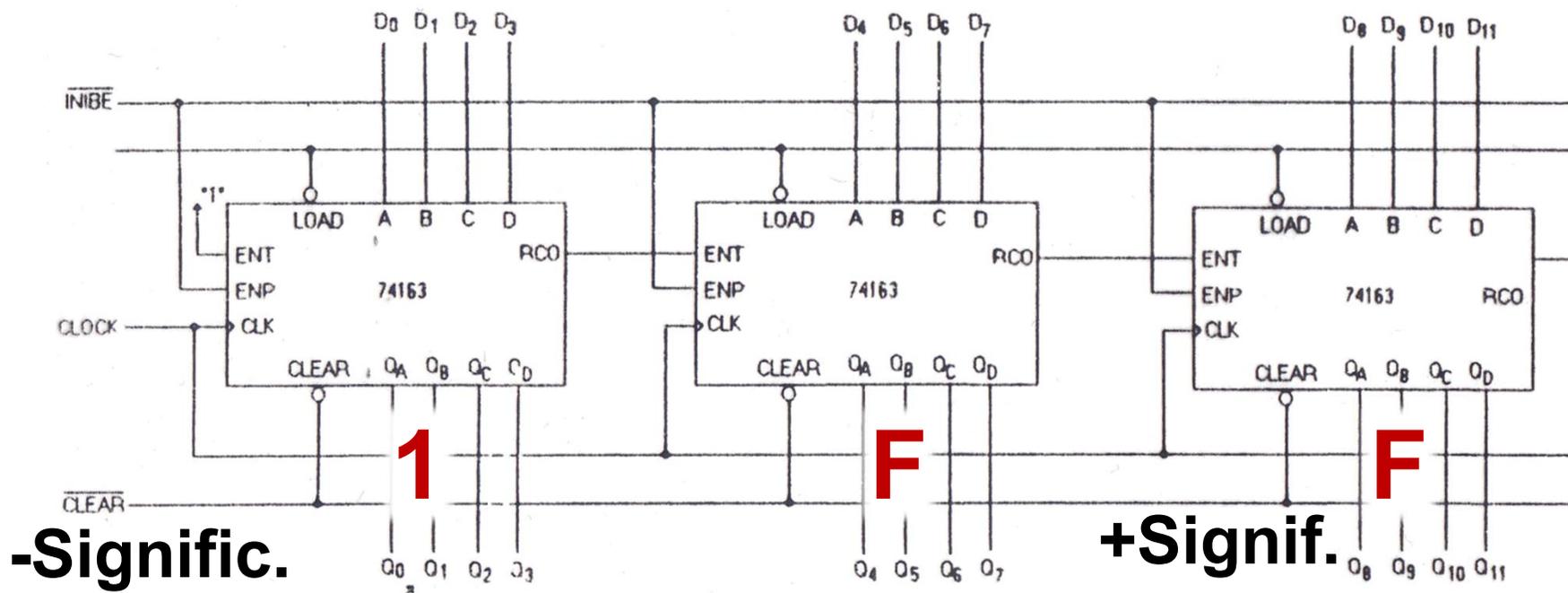


Contadores Síncronos: Associação em Cascata



- Se o Estado atual dos contadores fosse:
(-Sig.)**OFF**(+Sig.)
- Qual seria o Estado após a próxima borda de subida do *clock*?

Contadores Síncronos: Associação em Cascata



- Resposta: Se o sinal ENT do caractere do meio não desabilitasse seu próprio RCO, o Estado após a próxima borda seria:

(-Sig.) **1F0**(+Sig.)

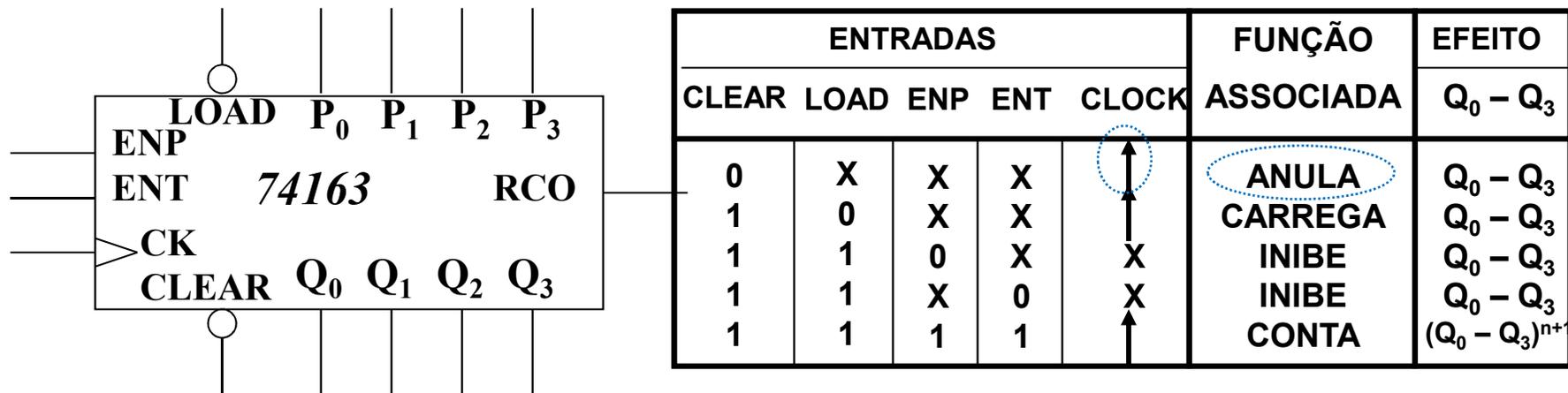
- Obs.: o sinal de enable "ENT" deve ser usado, pois o RCO não depende do enable "ENP"

Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

- **Lembrando:** A detecção e **carga assíncrona** de Estado necessitava da detecção do **Estado posterior ao último Estado** da **sequência desejada**.
- **Síncrono** – Detecta-se o **último Estado** da **sequência desejada**. O contador permanece um **período de *clock* completo**, neste **Estado**, e, na **próxima borda do *clock*** é ***resetado***.

Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

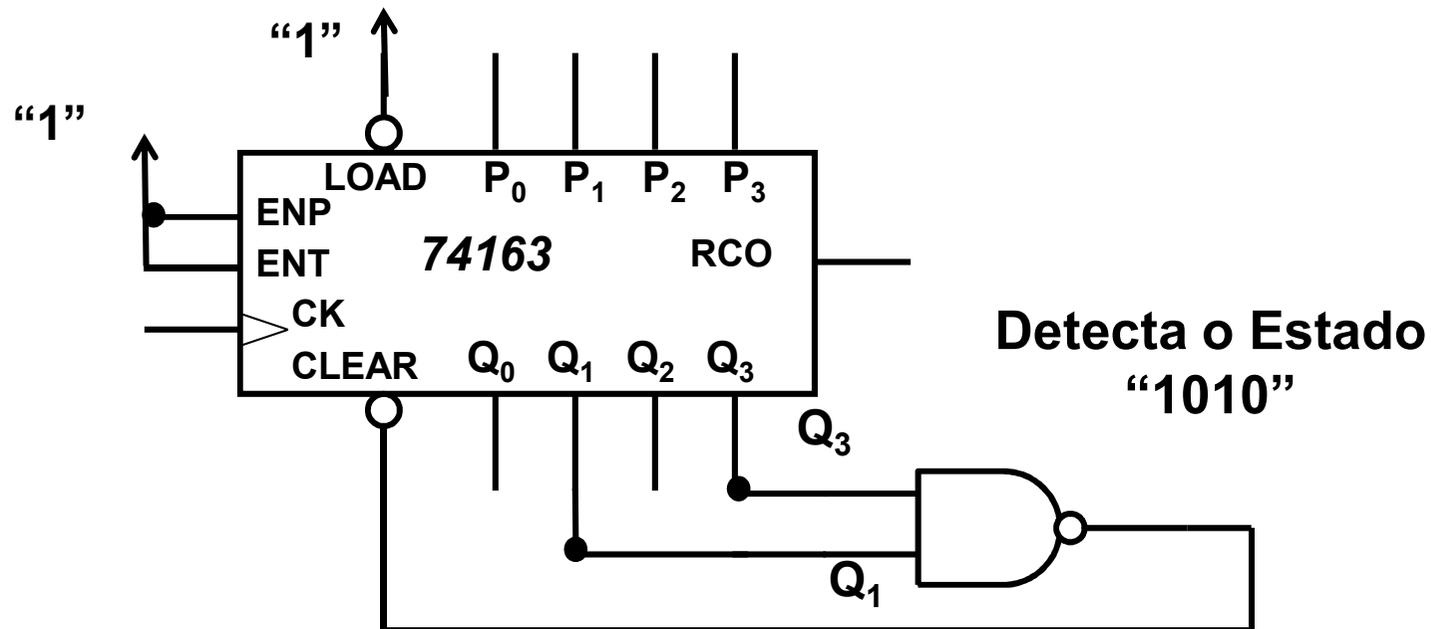
- **Síncrono** – Exemplo: Contador módulo 11 (conta dos Estados 0 até 10) com 74163.



- 1) 74163: Contador módulo 16 (hexadecimal), sequência binária, com [clear síncrono](#)
- 2) RCO: “Ripple Carry Out”;
- 3) ENT: “Enable Trickle Input”;
- 4) ENP: “Enable Parallel Input”;
- 5) $RCO = Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot ENT$

Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

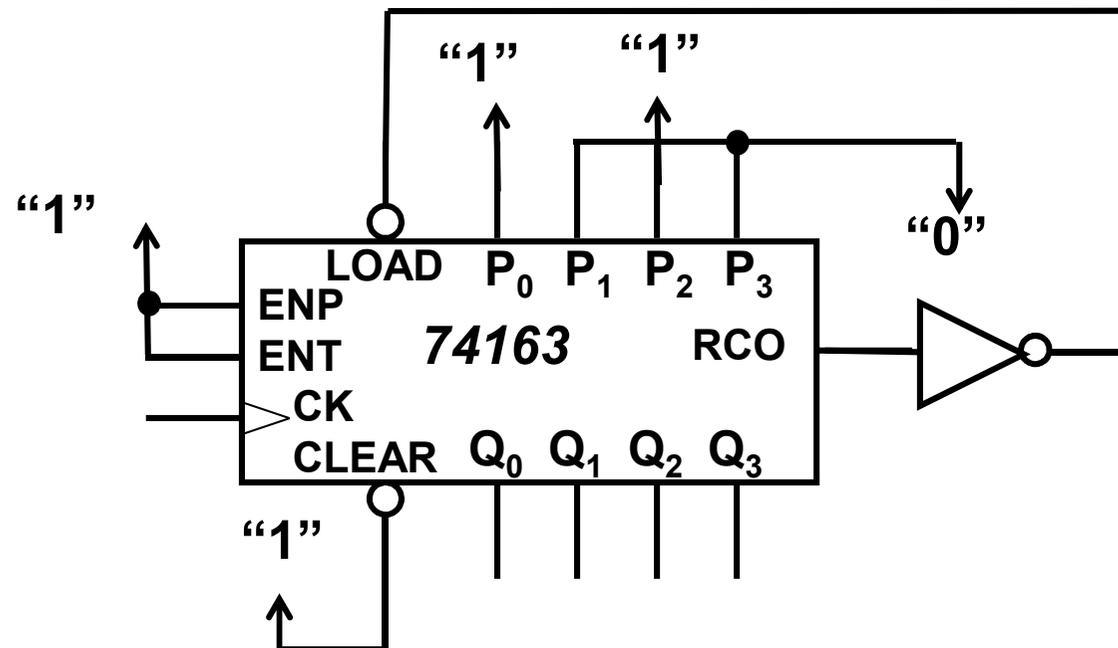
- **Síncrono** – Exemplo: Contador módulo 11 (conta dos Estados 0 até 10) com 74163.



Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

- **Alternativa – Contador módulo 11**

- Conta dos Estados **5 até 15**;
- Usa o sinal de **RCO** para detectar o Estado **15**, ligando-o (invertido) ao **LOAD** para carregar o Estado **5**.



Detecção/Carga Síncrona de Estado – Sequência de Módulo $\neq 2^n$

- **Exercício** – Qual o módulo deste contador?

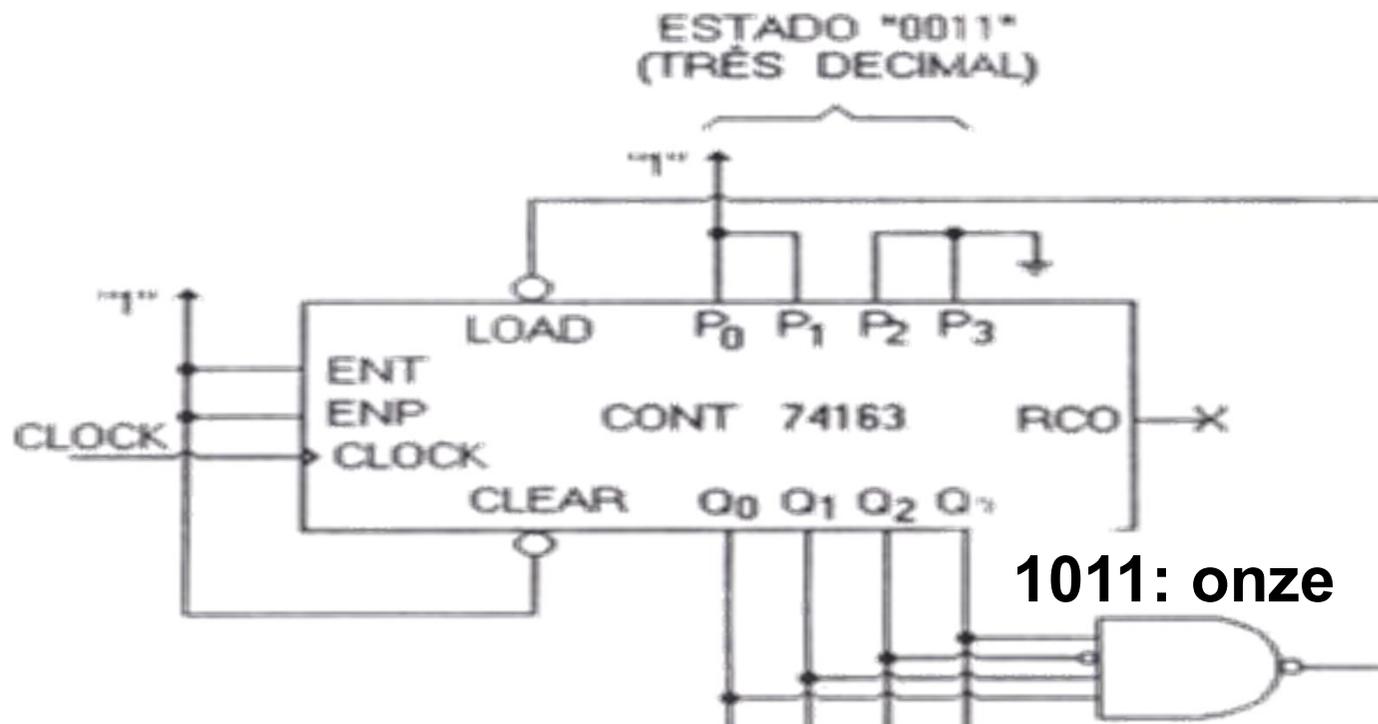
	C1	C2	clocks
Carga Paralela De C1 e C2	$(9)_{10} = (1001)_2$	$(2)_{10} = (0010)_2$	Total:
Conta		de 2 até 15 (F) = 13	7+13*16
Conta	de 9 até 15 (F) = 7 (1a vez)	2	+7
Conta	de 0 até 15 (F) = 16	3	+16
Conta	de 0 até 15 (F) = 16	...	+16
RCO₂ = 1•ENT Carga Paralela	de 0 até 15 (F) = 16	F	+16

Handwritten annotations:

- A large curved arrow on the left side of the table points from the bottom row up to the top row.
- A bracket on the right side groups the rows for C2 values 2, 3, ..., F, with a multiplier ***13** next to it.
- Arrows point from the C2 values 2, 3, ..., F to the corresponding C2 column in the table.

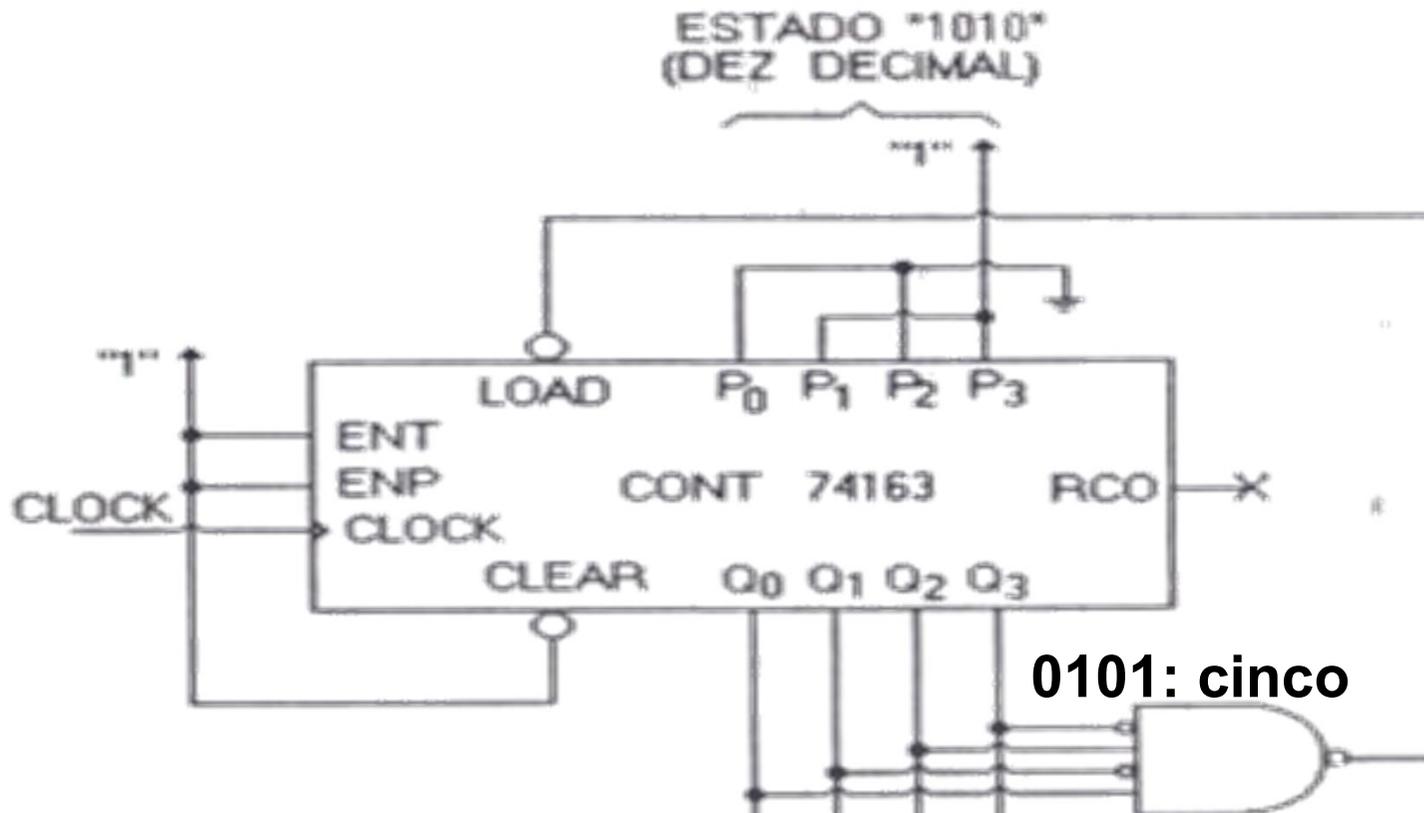
Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

- **Exercício** – Qual o módulo deste contador? Qual a sequência de contagem?
 - **Resposta:** intervalo [3 , 11] → módulo 9



Contadores Síncronos – Detecção e Carga Síncrona de Estado para Sequência de Módulo $\neq 2^n$

- **Exercício** – Qual o módulo deste contador? Qual a sequência de contagem?
 - **Resposta:** intervalo $[10, 15] + [0, 5] \rightarrow$ módulo 12



Contadores Síncronos – Geração de Onda Quadrada para Sequências de Módulo $\neq 2^n$

- Divisão de Frequência por $x = 2^n$: “pulando” alguns estados escolhidos
 - Exemplo: divisão por 6

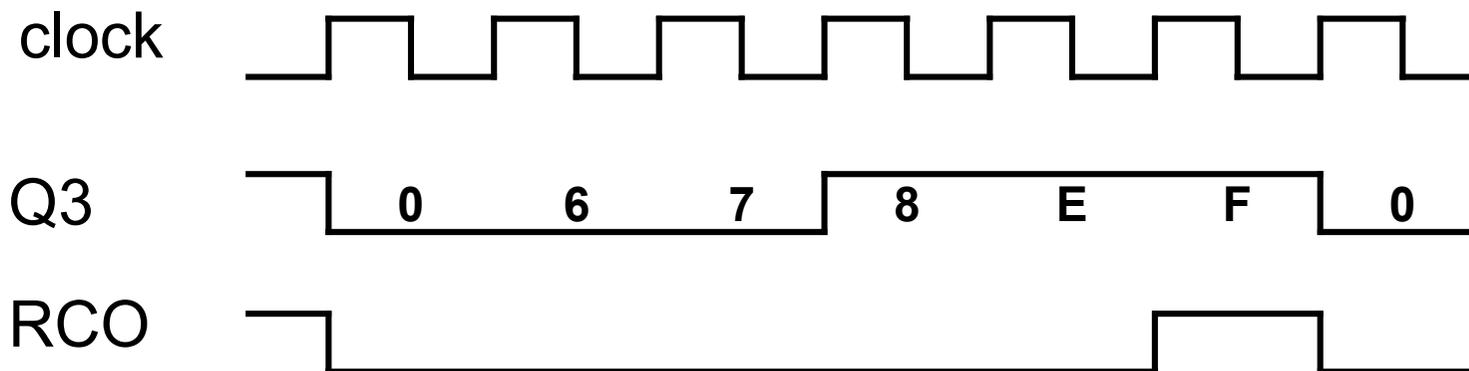
	Q3	Q2	Q1	Q0	Estado	Ação	Pulou
3 zeros	0	0	0	0	0	carrega 6	1,2,3,4,5
	0	1	1	0	6	conta	
	0	1	1	1	7	conta	
3 uns	1	0	0	0	8	carrega 14	9, A, B, C, D
	1	1	1	0	E	conta	
	1	1	1	1	F	conta	

Carga: Q3,1,0,0

Contadores Síncronos – Geração de Onda Quadrada para Sequências de Módulo $\neq 2^n$

○ Divisão de Frequência por 6

Q3	Q2	Q1	Q0	Estado	Ação	Pulou
0	0	0	0	0	carrega 6	1,2,3,4,5
0	1	1	0	6	conta	
0	1	1	1	7	conta	
1	0	0	0	8	carrega 14	9, A, B, C, D
1	1	1	0	E	conta	
1	1	1	1	F	conta	



Contadores Síncronos – Geração de Onda Quadrada para Sequências de Módulo $\neq 2^n$

○ Divisão de Frequência por 6

