

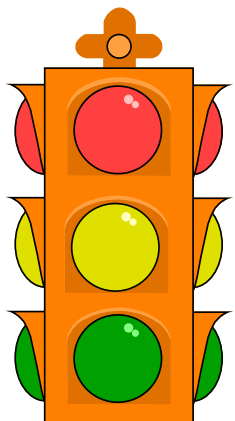
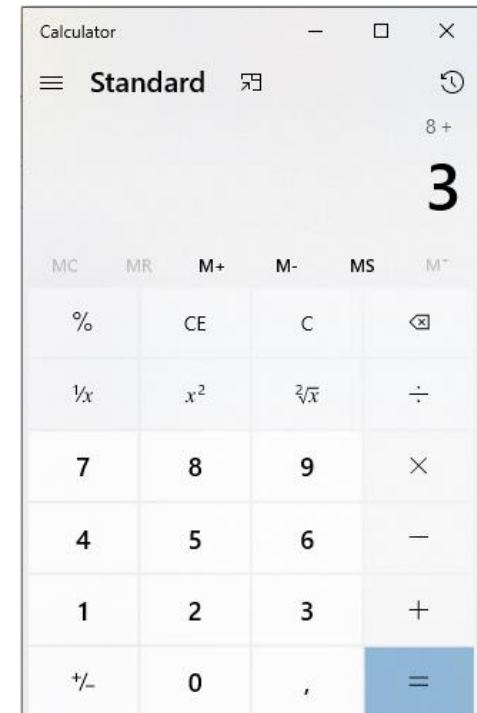
Circuitos Sequenciais



Circuitos sequenciais

Os **circuitos sequenciais** são aqueles em que as saídas num dado momento não dependem exclusivamente dos valores aplicados nas entradas nesse momento mas, também, dos valores que estavam presentes anteriormente. Ou seja, dispõem de **memória**.

Sem memória, a simples operação de adição de dois números numa calculadora seria impossível.



Como memorizar um operando enquanto o outro é recolhido?

Ou, num semáforo, como determinar o estado seguinte sem se memorizar o actual?



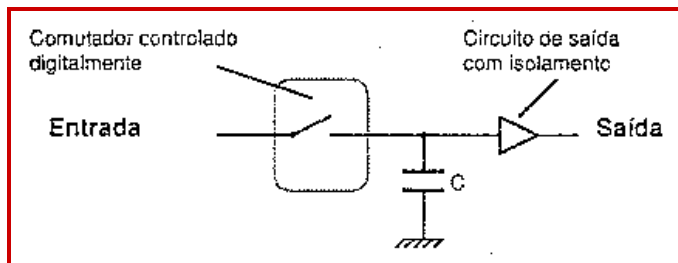
Dispositivos de memória

Um dispositivo de **memória binária** ou **digital** deve possibilitar:

- Uma operação de **escrita**, em que um valor binário é armazenado;
- Uma operação de **leitura**, em que um valor memorizado é lido para posterior utilização.

A sua implementação pode fazer-se, basicamente, de duas formas:

- Recorrendo a mecanismos analógicos



Necessitam de algum tipo de “refrescamento” para recarregar os condensadores:

- ☞ Processo complexo
- ☞ Usado apenas em memórias de grande capacidade, em que milhares ou milhões de células são refrescadas simultaneamente



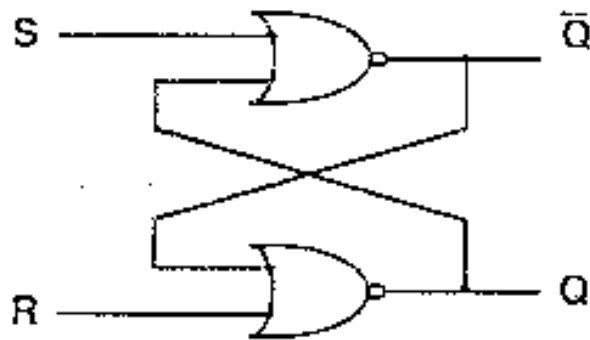
- Recorrendo a portas lógicas (com realimentação das saídas para as entradas)

Independentemente da forma pela qual é implementado, um dispositivo elementar de memória com capacidade para armazenar **um *bit***, designa-se por **célula de memória**.

Os dispositivos de memória que vamos estudar nesta disciplina, baseiam-se exclusivamente em portas lógicas e são de baixa capacidade (constituídos por apenas algumas células de memória).



O elemento de memória mais simples, que se encontra comercialmente disponível, é o **Flip-Flop SR**.



S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	"Indefinido"

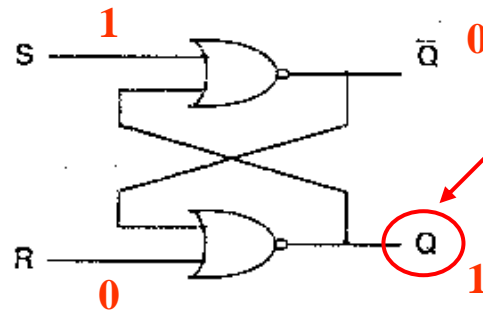
- **S** de *Set* porque **S=1** faz **Q=1**
- **R** de *Reset* porque **R=1** faz **Q=0**

- **Q_n** é o **Estado Actual**
- **Q_{n+1}** é o **Estado Seguinte**

Devido à presença da realimentação, para se perceber o funcionamento de um circuito deste tipo, é preciso partir de um determinado estado inicial (que inclui o valor das saídas).

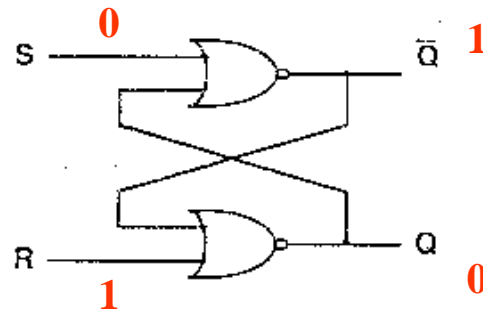


Considere-se que inicialmente **S=1**, **R=0** e **Q=1**



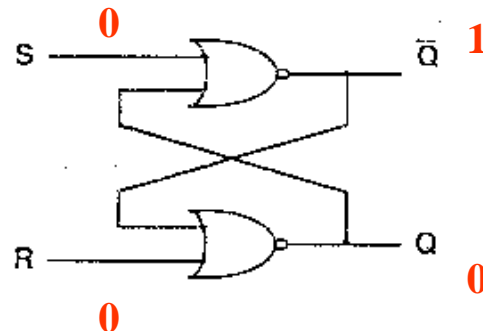
S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	"Indefinido"

Faça-se agora **R=1** e **S=0** (simultaneamente... !?)



O *Flip-Flop* mudou o estado das saídas. Note-se que este estado é estável.

Finalmente, faça-se **R=0** e **S=0** (simultaneamente... !?)

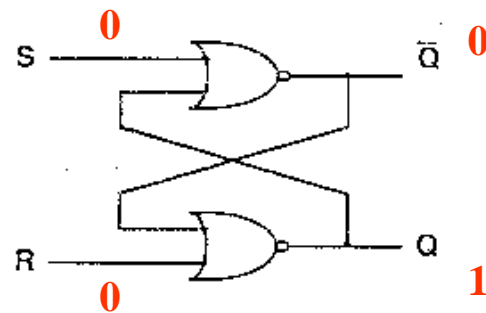
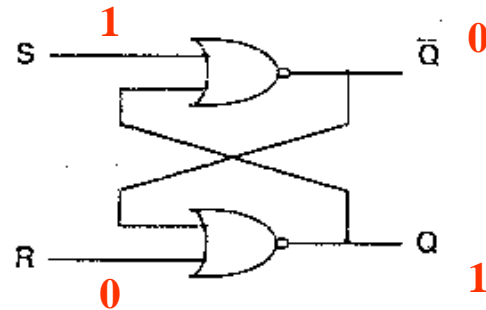


O *Flip-Flop* permaneceu no estado em que estava.



Se se tivesse aplicado $S=0$ e $R=0$ a este estado (em vez do exemplo anterior):

ter-se-ia:



S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	"Indefinido"

O *Flip-Flop* permaneceria também no estado em que estava.

Conclusão:

- Estados diferentes são retidos quando as entradas são $S = R = 0$;
- Portanto, o circuito pode memorizar um estado \rightarrow a “ordem” de memorização é dada por $S = R = 0$.



Circuitos síncronos e assíncronos

Os circuitos sequenciais podem ser **assíncronos** ou **síncronos**:

- **Assíncronos**: as saídas reagem imediatamente a modificações operadas nas suas entradas (caso do *Flip-Flop* SR anterior);
- **Síncronos**: as saídas reagem a modificações nas entradas mas apenas no momento em que uma entrada de relógio (*clock*) mudar de **0** para **1** (ou de **1** para **0**).



Os circuitos **assíncronos** têm uma **temporização crítica**.

Considere-se, por exemplo, o caso de um circuito sequencial assíncrono com duas entradas. Se ocorrer uma situação em que se supõe que ambas as entradas variam “simultaneamente”, na prática esta variação simultânea é impossível de garantir, uma vez que haverá sempre um desfasamento, por mais pequeno que seja.

Exemplo

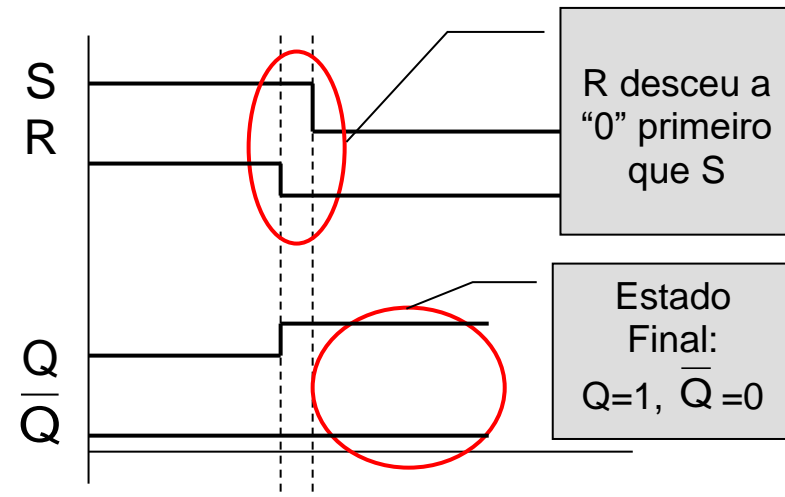
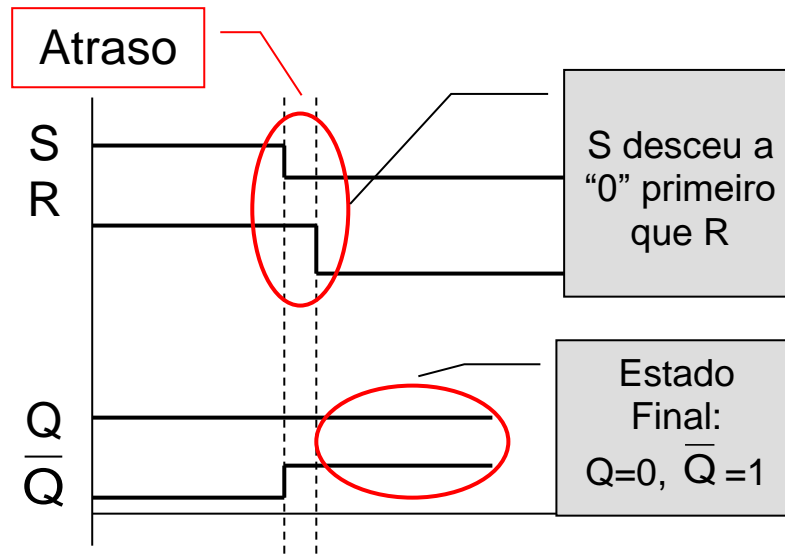
Suponha-se que num *Flip-Flop* SR se verifica que, em dado momento, $S=1$, $R=1$, $Q=0$ e $\bar{Q}=0$.

Note-se que Q e \bar{Q} apenas podem ser iguais nesta situação, dado que para $S=R=1$ as saídas têm estado “indefinido”.

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	"Indefinido"



Suponha-se agora que se alteravam os valores das entradas para $S=0$ e $R=0$.



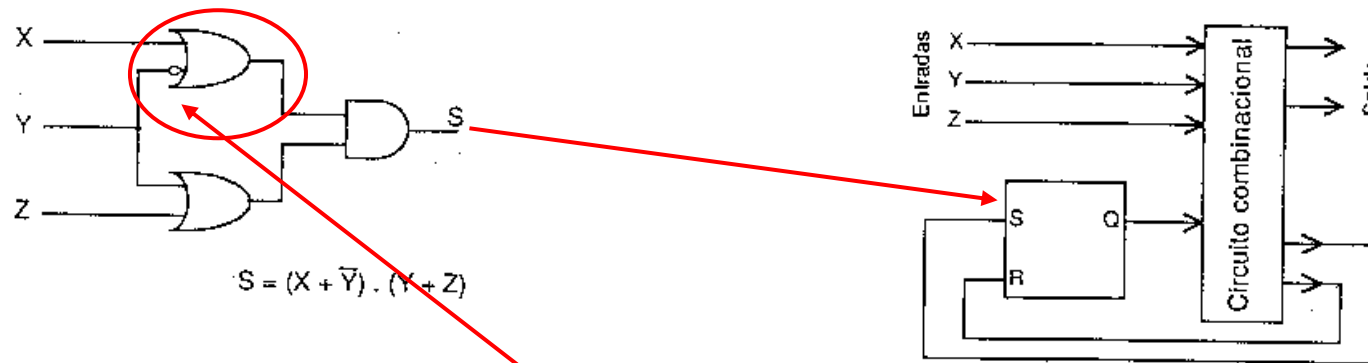
Conclusão:

Para as mesmas entradas e estados anteriores iguais, obtiveram-se estados seguintes diferentes ➔ comportamento imprevisível!



Outro exemplo:

Considere-se que a entrada **S** de um *Flip-Flop* SR é gerada pelo circuito combinacional apresentado em seguida.



- Neste circuito combinacional, com **X=0**, **Y=0** e **Z=0**, tem-se **S=0**;
- Se **Y** passar a **1** (mantendo **X=0** e **Z=0**) espera-se que a saída do circuito combinacional seja ainda **0** (devido ao inversor na parte superior do circuito);

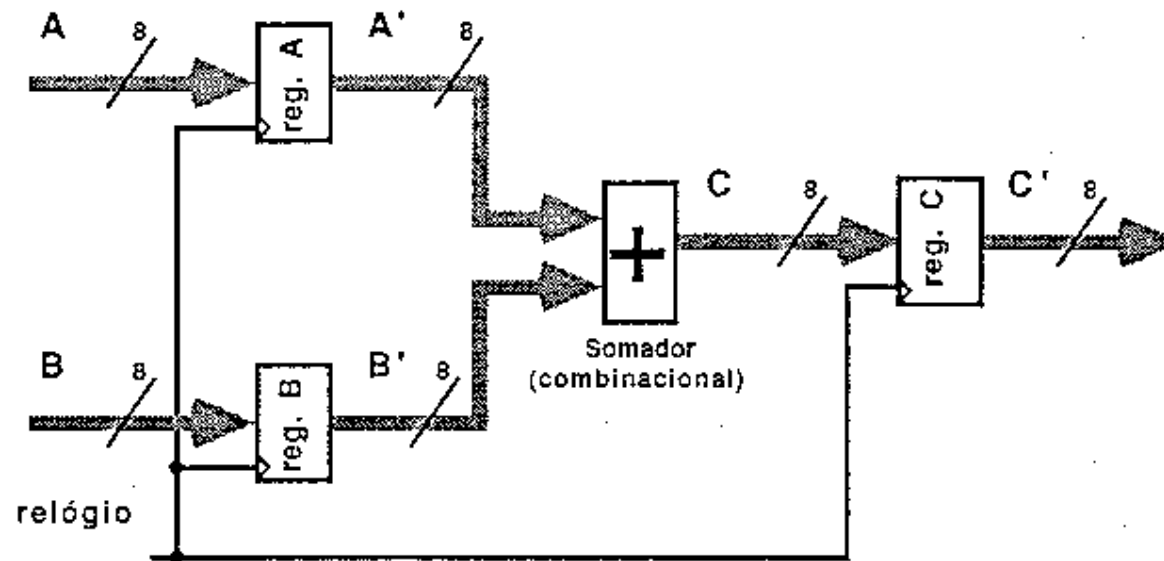


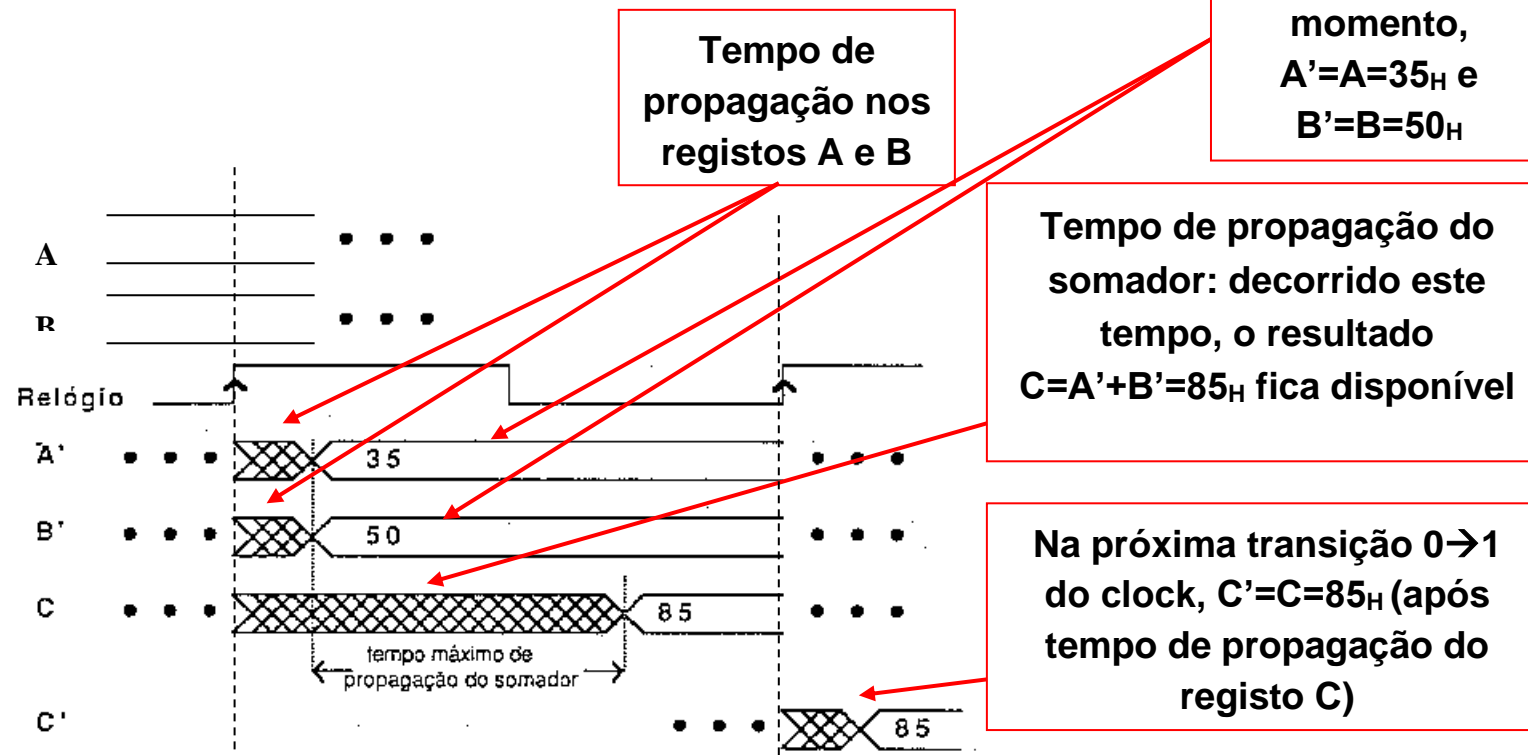
- Contudo, **devido ao tempo de propagação** do inversor, é natural que haja um instante transitório (**condição de despique** ou ***race condition***) em que **$S=1$** (porque o OR inferior dá **1** e o superior ainda não mudou para **0**);
- A presença deste **1** será imediatamente captada pelo *Flip-Flop* SR que alterará o seu estado sem que isso seja desejável (ou tenha sido “previsto”).



Com os circuitos **síncronos** estes problemas eliminam-se porque as transições nos *Flip-Flops* são realizadas apenas em instantes perfeitamente determinados: nas vertentes do relógio de **0→1** ou de **1→0**, consoante a implementação do *Flip-Flop*.

Exemplo:



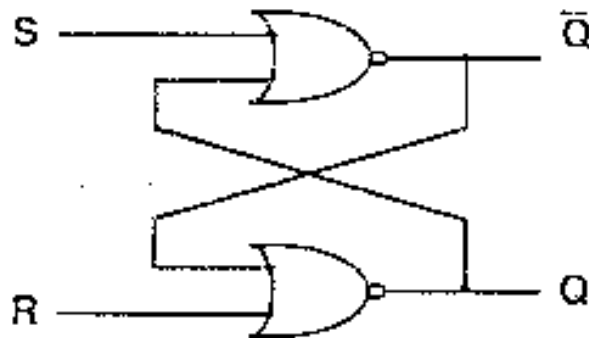


Conclusão: Embora existam instantes de tempo em que certos sinais não estão estabilizados, nos **circuitos síncronos estas variações não têm influência no funcionamento do circuito** desde que as transições do relógio se efectuem sempre em momentos em que os sinais relevantes se encontrem estáveis.



Flip-Flop SR

Este *Flip-Flop* tem o grande inconveniente do estado seguinte, Q_{n+1} , ser indefinido quando no estado actual se aplicam $S=1$ e $R=1$.



S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	"Indefinido"

A tabela anterior é a **Tabela Funcional** do *Flip-Flop* SR. Nesta tabela, as saídas são função das entradas.



A partir da Tabela Funcional pode obter-se a **Tabela de Excitação** do *Flip-Flop*:

- Nesta tabela, as entradas (a aplicar) são função das saídas (pretendidas para o estado seguinte)
- A partir desta é possível obter a resposta à questão: “*Que entradas aplicar para no estado seguinte se obter Y, supondo que no actual se tem X ?*”



Por exemplo, se actualmente $Q_n=0$, como obter $Q_{n+1}=0$?

Resposta:

- $S=0$ e $R=0$ → porque $Q_{n+1}=Q_n$ e portanto $Q_{n+1}=0$
- $S=0$ e $R=1$ → porque $Q_{n+1}=0$

Pode então escrever-se a 1ª linha da Tabela de Excitação:

Q_n	Q_{n+1}	S	R
0	0	0	X

Procedendo de modo semelhante para as outras situações, obtém-se:

S	R	Q_{n+1}			
0	0	Q_n			
0	1	0			
1	0	1			
1	1	indefinido			

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	S	R
0 → 0	0	X
0 → 1	1	0
1 → 0	0	1
1 → 1	X	0

Tabela Funcional

Tabela de Excitação