

# AULA 10: BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS (SOMADOR, SUBTRATOR)

## CIRCUITOS DIGITAIS

Rodrigo Hausen

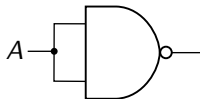
CMCC – UFABC

25 de fevereiro de 2013

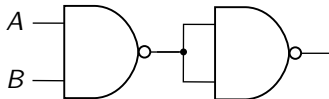
<http://compscinet.org/circuitos>

# TRABALHO DE CASA:

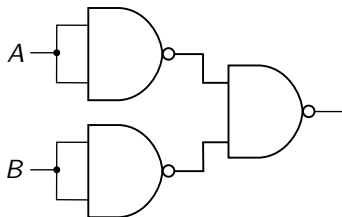
- Determine a expressão lógica mais simples para a saída de cada um dos circuitos abaixo (os circuitos usam apenas portas **nand**)



Circuito 1



Circuito 2

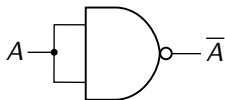


Circuito 3

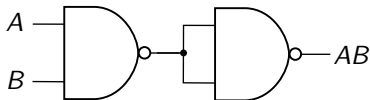
- O que você pode concluir deste exercício?

# TRABALHO DE CASA:

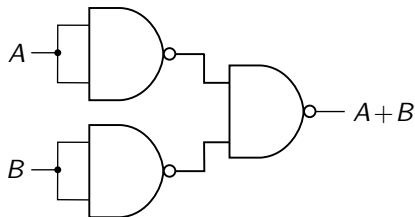
- Determine a expressão lógica mais simples para a saída de cada um dos circuitos abaixo (os circuitos usam apenas portas **nand**)



Circuito 1



Circuito 2



Circuito 3

- O que você pode concluir deste exercício?

# UNIVERSALIDADE DA PORTA NAND

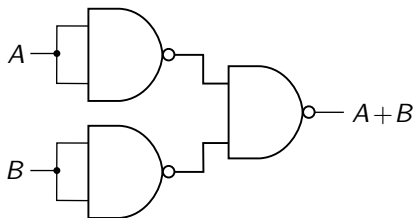
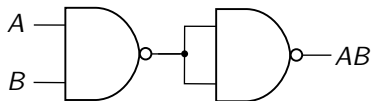
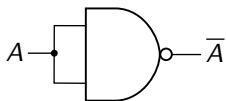
Pense nisto:

- 1 Com as portas lógicas NOT, AND e OR, podemos calcular **qualquer** função lógica;

# UNIVERSALIDADE DA PORTA NAND

Pense nisto:

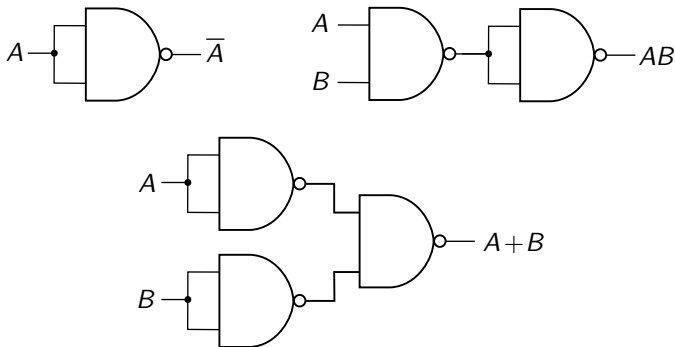
- 1 Com as portas lógicas NOT, AND e OR, podemos calcular **qualquer** função lógica;
- 2 Podemos construir as portas NOT, AND e OR usando apenas portas NAND:



# UNIVERSALIDADE DA PORTA NAND

Pense nisto:

- 1 Com as portas lógicas NOT, AND e OR, podemos calcular **qualquer** função lógica;
- 2 Podemos construir as portas NOT, AND e OR usando apenas portas NAND:

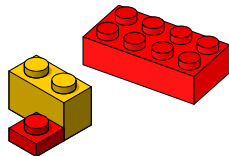


**Conclusão:** posso construir qualquer circuito digital usando apenas portas NAND.

- **Para casa:** mostre que podemos construir **qualquer** circuito digital usando apenas portas NOR.

# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

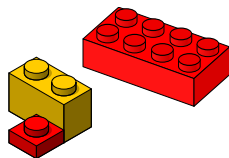
- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.





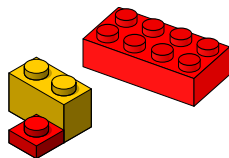
# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.
- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:



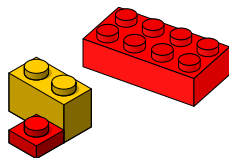
# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.
- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores



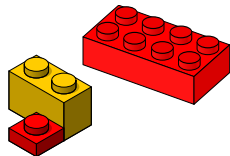
# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.
- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores



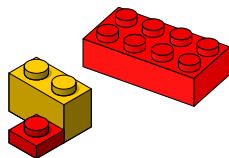
# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.
- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores
  - ▶ multiplexadores e demultiplexadores



# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

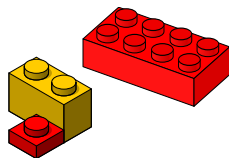
- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.



- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores
  - ▶ multiplexadores e demultiplexadores
  - ▶ unidades lógico-aritméticas

# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

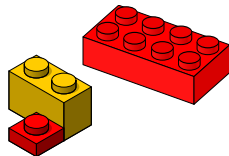
- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.



- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores
  - ▶ multiplexadores e demultiplexadores
  - ▶ unidades lógico-aritméticas
  - ▶ latches e flip-flops

# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

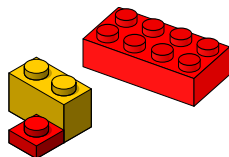
- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.



- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores
  - ▶ multiplexadores e demultiplexadores
  - ▶ unidades lógico-aritméticas
  - ▶ latches e flip-flops
  - ▶ registradores e memórias

# BLOCOS DIGITAIS BÁSICOS

- Os blocos mais elementares da eletrônica digital são as portas lógicas.
- Daqui em diante, vamos aplicar o nosso conhecimento de análise e síntese de circuitos digitais para construir alguns blocos um pouco menos elementares:
  - ▶ somadores e subtratores
  - ▶ codificadores e decodificadores
  - ▶ multiplexadores e demultiplexadores
  - ▶ unidades lógico-aritméticas
  - ▶ latches e flip-flops
  - ▶ registradores e memórias
- É extremamente útil saber a função de cada um desses blocos e as suas interfaces (ou seja, como conectar cada um deles em nossos circuitos).





# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1 s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .

$$\begin{array}{r} a_0 \\ + \quad b_0 \\ \hline s_1 \quad s_0 \end{array}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1 s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .

$$\begin{array}{r} a_0 \\ + \quad b_0 \\ \hline s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- **Primeiro passo:** obtenha e simplifique a expressão lógica para cada saída.

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1 s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .

$$\begin{array}{r} a_0 \\ + \quad b_0 \\ \hline s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- **Primeiro passo:** obtenha e simplifique a expressão lógica para cada saída.

$a_0$	$b_0$	$s_0$	$a_0$	$b_0$	$s_1$
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1 s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .

$$+ \begin{array}{r} a_0 \\ b_0 \\ \hline s_1 s_0 \end{array}$$

- **Primeiro passo:** obtenha e simplifique a expressão lógica para cada saída.

$a_0$	$b_0$	$s_0$	$a_0$	$b_0$	$s_1$
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1

- Neste caso, é elementar obter expressões simples para as saídas:

$$s_0 = a_0 \oplus b_0$$

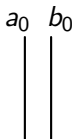
$$s_1 = a_0 b_0$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)



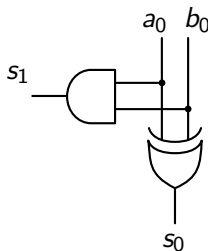
# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

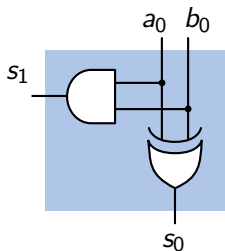
- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)





# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

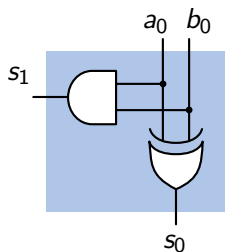
- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)



Bloco  
meio somador  
(half adder)

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)

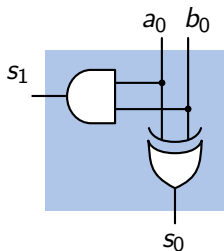


Bloco  
meio somador  
(half adder)

- **Terceiro passo:** analisar o circuito e verificar as saídas.

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 1:** Elabore um circuito digital com 2 entradas,  $a_0$  e  $b_0$ , e 2 saídas,  $s_1$  e  $s_0$  de tal forma que  $(s_1s_0)_2$  represente a soma aritmética  $a_0 + b_0$ .
- **Segundo passo:** desenhar o diagrama do circuito.  
 $s_0 = a_0 \oplus b_0$  e  $s_1 = a_0b_0$  (note que há um **and** implícito)



Bloco  
meio somador  
(half adder)

- **Terceiro passo:** analisar o circuito e verificar as saídas.
- **Quarto passo:** monte o circuito e faça sua tabela verdade.  
(para este circuito, os dois últimos passos não tem a menor graça)

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 2:** Elabore um circuito digital com 3 entradas,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  e 2 saídas,  $s_i$  e  $c_i$  de tal forma que  $s_i$  represente a soma aritmética  $a_i + b_i + c_{i-1}$  e  $c_i$  represente o vai-um (carry) da operação.

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 2:** Elabore um circuito digital com 3 entradas,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  e 2 saídas,  $s_i$  e  $c_i$  de tal forma que  $s_i$  represente a soma aritmética  $a_i + b_i + c_{i-1}$  e  $c_i$  represente o vai-um (carry) da operação.

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \quad \quad \quad \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \quad \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \quad \quad \quad \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- Quais são as entradas?

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 2:** Elabore um circuito digital com 3 entradas,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  e 2 saídas,  $s_i$  e  $c_i$  de tal forma que  $s_i$  represente a soma aritmética  $a_i + b_i + c_{i-1}$  e  $c_i$  represente o vai-um (carry) da operação.

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \quad \quad \quad \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \quad \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \quad \quad \quad \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- Quais são as entradas?  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 2:** Elabore um circuito digital com 3 entradas,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  e 2 saídas,  $s_i$  e  $c_i$  de tal forma que  $s_i$  represente a soma aritmética  $a_i + b_i + c_{i-1}$  e  $c_i$  represente o vai-um (carry) da operação.

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- Quais são as entradas?  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$
- Quais são as saídas?

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Exemplo 2:** Elabore um circuito digital com 3 entradas,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  e 2 saídas,  $s_i$  e  $c_i$  de tal forma que  $s_i$  represente a soma aritmética  $a_i + b_i + c_{i-1}$  e  $c_i$  represente o vai-um (carry) da operação.

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

- Quais são as entradas?  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$
- Quais são as saídas?  $s_i$ ,  $c_i$



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** obter as expressões para as saídas  $s_i$  e  $c_i$ .

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \quad \quad \quad \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \quad \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \quad \quad \quad \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** obter as expressões para as saídas  $s_i$  e  $c_i$ .

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \quad c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots \quad c_0 \\ \quad \quad \quad \dots \quad a_{i+1} \quad a_i \quad \dots \quad a_1 \quad a_0 \\ + \quad \quad \quad \dots \quad b_{i+1} \quad b_i \quad \dots \quad b_1 \quad b_0 \\ \hline \quad \quad \quad \dots \quad s_{i+1} \quad s_i \quad \dots \quad s_1 \quad s_0 \end{array}$$

Para a soma  $s_i$ :

$c_{i-1} \backslash a_i b_i$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** obter as expressões para as saídas  $s_i$  e  $c_i$ .

$$\begin{array}{r} \text{vai-uns} \rightarrow \\ \dots c_{i+1} \quad c_i \quad c_{i-1} \quad \dots c_0 \\ \dots a_{i+1} \quad a_i \quad \dots a_1 a_0 \\ + \quad \dots b_{i+1} \quad b_i \quad \dots b_1 b_0 \\ \hline \dots s_{i+1} \quad s_i \quad \dots s_1 s_0 \end{array}$$

Para a soma  $s_i$ :

$c_{i-1} \backslash a_i b_i$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Para o vai-um  $c_i$ :

$c_{i-1} \backslash a_i b_i$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** (continuação)

Para a soma  $s_j$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Para o vai-um  $c_j$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** (continuação)

Para a soma  $s_j$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Para o vai-um  $c_j$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

Note que  $s_j$  só é 1 se apenas um dos bits  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  é 1, ou se os três forem 1. Isto corresponde à expressão:

$$s_j = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** (continuação)

Para a soma  $s_i$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Para o vai-um  $c_i$ :

$a_i b_i$ \ $c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

Note que  $s_i$  só é 1 se apenas um dos bits  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  é 1, ou se os três forem 1. Isto corresponde à expressão:

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + a_i c_{i-1} + b_i c_{i-1}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Primeiro passo:** (continuação)

Para a soma  $s_i$ :

$a_i b_i \backslash c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Para o vai-um  $c_i$ :

$a_i b_i \backslash c_{i-1}$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

Note que  $s_i$  só é 1 se apenas um dos bits  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_{i-1}$  é 1, ou se os três forem 1. Isto corresponde à expressão:

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + a_i c_{i-1} + b_i c_{i-1} = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

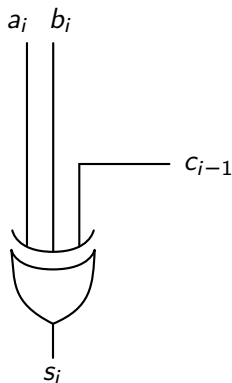


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

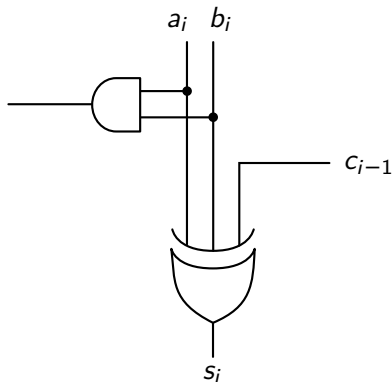


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

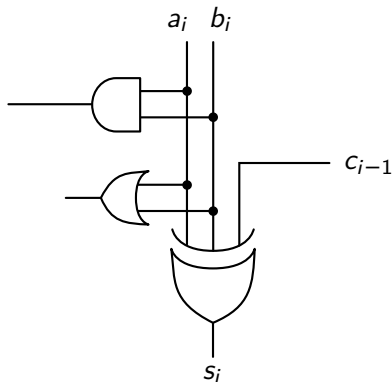


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

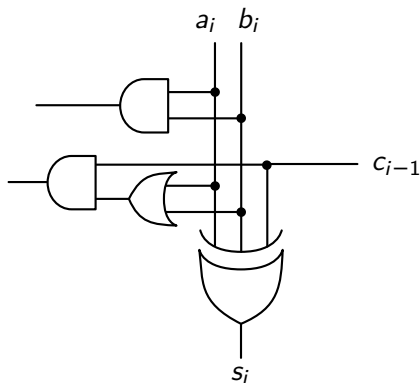


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

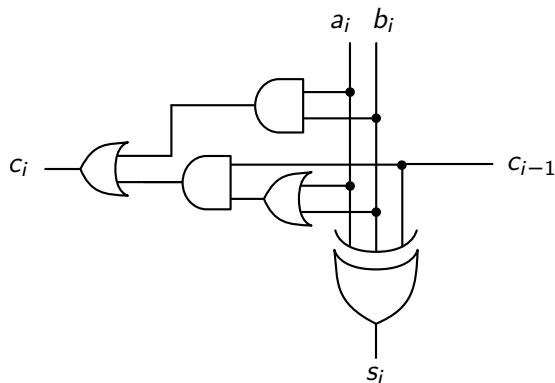


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

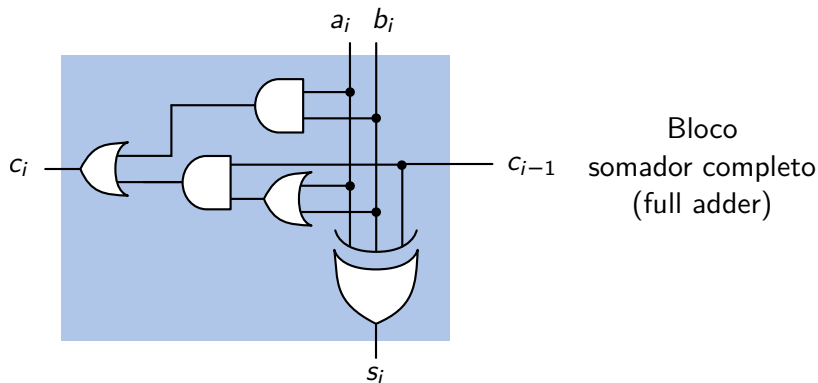


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$

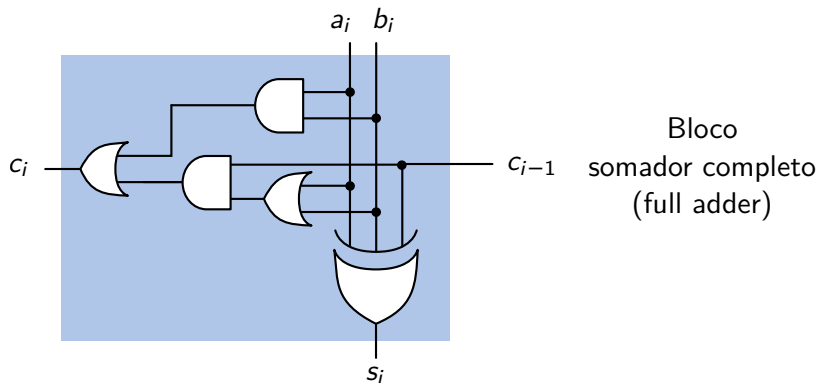


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- **Segundo passo:** diagrama do circuito digital.

$$s_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}$$

$$c_i = a_i b_i + (a_i + b_i) \cdot c_{i-1}$$



(Terceiro passo foi feito na aula passada. Vamos omitir o quarto passo.)

# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Note que, juntando blocos Half Adder e Full Adder, podemos montar um somador para números de  $n$  bits.

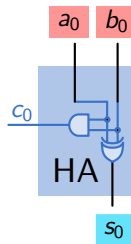
$$\begin{array}{r} \phantom{+} \\ \phantom{+} c_{n-1} \phantom{c_{n-2}} \phantom{c_{n-3}} \dots \phantom{c_0} \\ \phantom{+} a_{n-1} \phantom{a_{n-2}} \dots a_1 \phantom{a_0} \\ + \phantom{c_{n-1}} b_{n-1} \phantom{b_{n-2}} \dots b_1 \phantom{b_0} \\ \hline s_{n-1} \phantom{s_{n-2}} \dots s_1 \phantom{s_0} \end{array}$$



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Note que, juntando blocos Half Adder e Full Adder, podemos montar um somador para números de  $n$  bits.

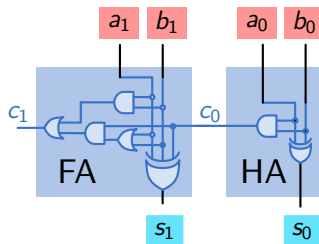
$$\begin{array}{ccccccc} & c_{n-1} & c_{n-2} & c_{n-3} & \dots & c_0 & \\ + & & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1 & a_0 \\ & & b_{n-1} & b_{n-2} & \dots & b_1 & b_0 \\ \hline & s_{n-1} & s_{n-2} & \dots & s_1 & s_0 & \end{array}$$



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

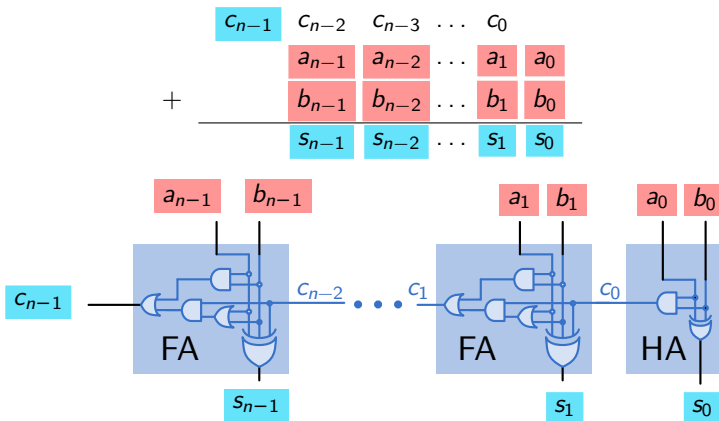
- Note que, juntando blocos Half Adder e Full Adder, podemos montar um somador para números de  $n$  bits.

$$\begin{array}{ccccccc} & c_{n-1} & c_{n-2} & c_{n-3} & \dots & c_0 & \\ + & & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1 & a_0 \\ & & b_{n-1} & b_{n-2} & \dots & b_1 & b_0 \\ \hline & s_{n-1} & s_{n-2} & \dots & s_1 & s_0 & \end{array}$$



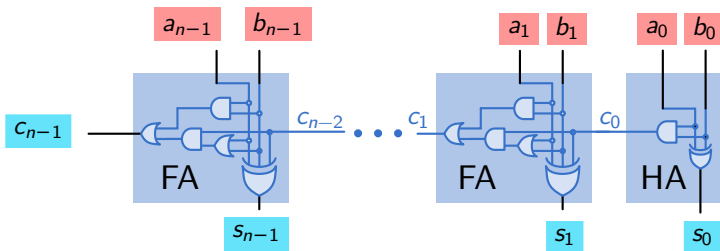
# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Note que, juntando blocos Half Adder e Full Adder, podemos montar um somador para números de  $n$  bits.



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

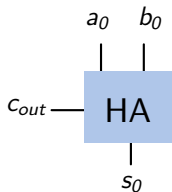
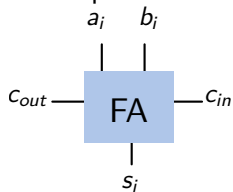
- **Somador ripple carry de  $n$  bits:** leva este nome pois os vai-uns (carry) são propagados como uma ondulação (ripple) da direita para a esquerda.



- **Para casa:** diga quantas e quais são as portas lógicas usadas (separe as portas lógicas com 2 entradas das de 3 entradas) em um somador ripple carry de  $n$  bits.

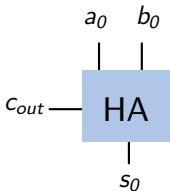
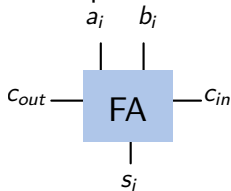
# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Podemos enxergar os blocos somadores (half adder e full adder) como caixas-pretas.

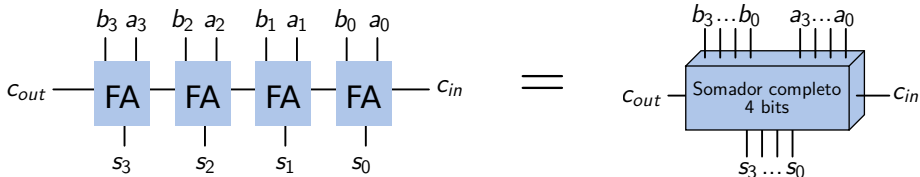


# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Podemos enxergar os blocos somadores (half adder e full adder) como caixas-pretas.

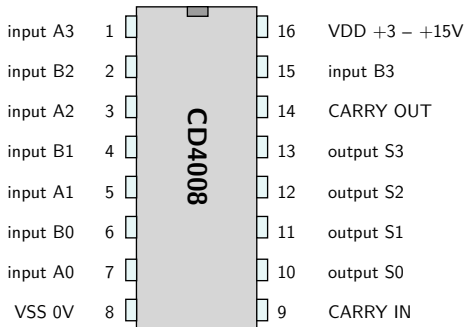


- Também podemos enxergar um somador de  $n$  bits como uma caixa-preta:



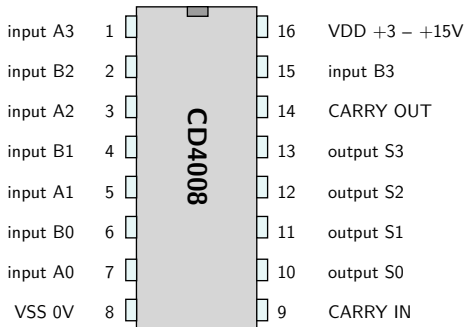
# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Podemos comprar blocos somadores integrados: 7483 (TTL); CD4008 (CMOS); e outros.



# BLOCOS SOMADORES BINÁRIOS

- Podemos comprar blocos somadores integrados: 7483 (TTL); CD4008 (CMOS); e outros.



- Podemos unir blocos somadores completos para obter somadores com quantidade maior de bits (p. ex. juntar 8 integrados CD4008 para fazer um somador de 32 bits)



# BLOCO SUBTRATOR BINÁRIO

- E a subtração?

# BLOCO SUBTRATOR BINÁRIO

- E a subtração?
- Lembra da subtração feita usando-se complemento a 2?

$$B = (b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)_2$$

$$A = (a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0)_2$$

# BLOCO SUBTRATOR BINÁRIO

- E a subtração?
- Lembra da subtração feita usando-se complemento a 2?

$$B = (b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)_2$$

$$A = (a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0)_2$$

$$\bar{A} = (\overline{a_{n-1}} \overline{a_{n-2}} \dots \overline{a_1} \overline{a_0})_2 \text{ (complemento a um de } A)$$

# BLOCO SUBTRATOR BINÁRIO

- E a subtração?
- Lembra da subtração feita usando-se complemento a 2?

$$B = (b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)_2$$

$$A = (a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0)_2$$

$$\bar{A} = (\bar{a}_{n-1} \bar{a}_{n-2} \dots \bar{a}_1 \bar{a}_0)_2 \text{ (complemento a um de } A)$$

$$B - A = B + \underbrace{\bar{A} + 1}_{\text{compl. a 2}} \text{ e despreza-se o último vai-um}$$

# BLOCO SUBTRATOR BINÁRIO

- E a subtração?
- Lembra da subtração feita usando-se complemento a 2?

$$B = (b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)_2$$

$$A = (a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0)_2$$

$$\bar{A} = (\bar{a}_{n-1} \bar{a}_{n-2} \dots \bar{a}_1 \bar{a}_0)_2 \text{ (complemento a um de } A)$$

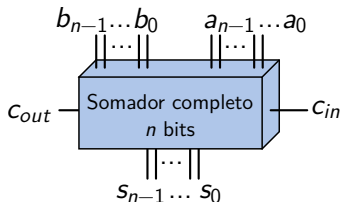
$$B - A = B + \underbrace{\bar{A} + 1}_{\text{compl. a 2}} \text{ e despreza-se o último vai-um}$$

- Faça o diagrama de um circuito digital para um subtrator de  $n$  bits. Você só precisará de:
  - ▶ um somador completo de  $n$  bits; e
  - ▶ portas NOT

(resposta na lousa)

# SOMA E SUBTRAÇÃO DE NÚMEROS COM SINAL

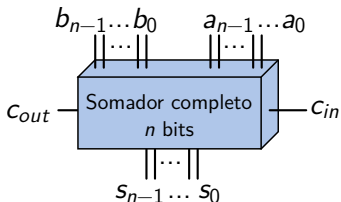
- Este é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros sem sinal.



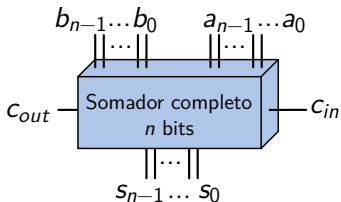
- Como é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros com sinal no formato complemento de 2?

# SOMA E SUBTRAÇÃO DE NÚMEROS COM SINAL

- Este é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros sem sinal.

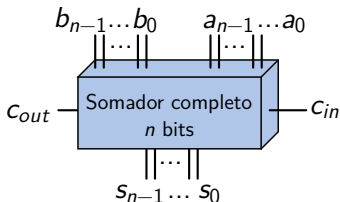


- Como é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros com sinal no formato complemento de 2?

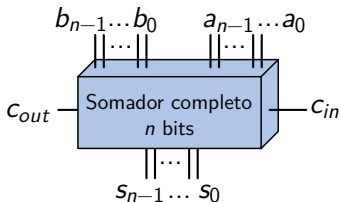


# SOMA E SUBTRAÇÃO DE NÚMEROS COM SINAL

- Este é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros sem sinal.



- Como é um somador para palavras de  $n$  bits que representam números inteiros com sinal no formato complemento de 2?



- Não há nenhuma diferença no circuito!



# SOMA E SUBTRAÇÃO DE NÚMEROS COM SINAL

- Em casa, monte um somador binário para números de 5 bits no Logisim, usando 5 somadores completos de 1 bit. Faça as somas abaixo usando a representação de complemento de 2 (manualmente e no Logisim) e interprete os resultados:

a)  $(+3) + (+6)$

b)  $(+6) + (+3)$

c)  $(-3) + (+6)$

d)  $(+6) + (-3)$

e)  $(-3) + (-6)$

f)  $(+7) + (+9)$

g)  $(-7) + (-9)$

h)  $(-8) + (-9)$

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B<A}$ ,  $f_{B>A}$  e  $f_{B=A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B<A}$ ,  $f_{B>A}$  e  $f_{B=A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

- Dica: qual é o sinal de  $B - A$ ?

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X < 0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X = 0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X > 0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B < A}$ ,  $f_{B > A}$  e  $f_{B = A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

- Dica: qual é o sinal de  $B - A$ ?

$$B - A \text{ é } \left\{ \begin{array}{l} \text{negativo se, e somente se, } B < A \end{array} \right.$$

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B<A}$ ,  $f_{B>A}$  e  $f_{B=A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

- Dica: qual é o sinal de  $B - A$ ?

$$B - A \text{ é } \begin{cases} \text{negativo se, e somente se, } B < A \\ = 0 \text{ se, e somente se, } B = A \end{cases}$$

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B<A}$ ,  $f_{B>A}$  e  $f_{B=A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

- Dica: qual é o sinal de  $B - A$ ?

$$B - A \text{ é } \begin{cases} \text{negativo se, e somente se, } B < A \\ = 0 \text{ se, e somente se, } B = A \\ \text{positivo se, e somente se, } B > A \end{cases}$$

# COMPARAÇÃO ENTRE NÚMEROS

**Exercício 1:** Seja  $X = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$  uma palavra de  $n$  bits que representa um número inteiro com sinal no formato de complemento de 2. Faça um circuito digital com  $n$  entradas e 3 saídas:

- $f_{X<0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número negativo, 0 caso contrário
- $f_{X=0}$ , que é 1 se  $X$  representa o número zero, 0 caso contrário
- $f_{X>0}$ , que é 1 se  $X$  representa um número positivo, 0 caso contrário

**Exercício 2:** Faça um circuito digital com  $2n$  entradas e 3 saídas  $f_{B<A}$ ,  $f_{B>A}$  e  $f_{B=A}$  que são 1, respectivamente, se  $B < A$  ou  $B > A$  ou  $B = A$ , onde  $A, B$  são palavras de  $n$  que representam números inteiros com sinal no formato de complemento de 2.

- Dica: qual é o sinal de  $B - A$ ?

$$B - A \text{ é } \begin{cases} \text{negativo se, e somente se, } B < A \\ = 0 \text{ se, e somente se, } B = A \\ \text{positivo se, e somente se, } B > A \end{cases}$$

(respostas na lousa)

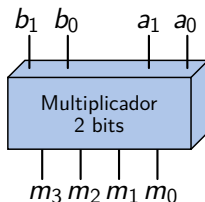


- Leia a seção 5-3 e faça os seguintes exercícios do capítulo 5: autotestes 7 a 10; problemas 18 a 21.
- Leia as seções 6-1, 6-2, 6-4 (o Floyd faz comparação de números de maneira diferente) e faça os seguintes exercícios do capítulo 6: autotestes 1 a 6; problemas 1 a 7, 11 a 13.
- Leia a seção 6-3 apenas para aumentar sua cultura.

- **Problema 1:** Faça um circuito para detectar overflow em uma operação de (a) soma e (b) subtração entre duas palavras de  $n$  bits que representam inteiros com sinal no formato complemento de 2

- **Problema 1:** Faça um circuito para detectar overflow em uma operação de (a) soma e (b) subtração entre duas palavras de  $n$  bits que representam inteiros com sinal no formato complemento de 2
- **Problema 2:** Sem usar blocos somadores/subtratores, faça um circuito digital para calcular o produto de dois números inteiros sem sinal com dois bits cada um. Esse circuito terá entradas e saídas.

- **Problema 1:** Faça um circuito para detectar overflow em uma operação de (a) soma e (b) subtração entre duas palavras de  $n$  bits que representam inteiros com sinal no formato complemento de 2
- **Problema 2:** Sem usar blocos somadores/subtratores, faça um circuito digital para calcular o produto de dois números inteiros sem sinal com dois bits cada um. Esse circuito terá 4 entradas e 4 saídas.



- **Problema 3:** Faça um circuito com  $n + 1$  entradas,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0, y$  e  $n$  saídas  $z_{n-1}, z_{n-1}, \dots, z_1, z_0$  tal que:

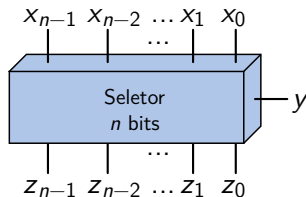
$$\text{para todo } i \text{ entre } 0 \text{ e } n - 1, z_i = \begin{cases} 0 & \text{se } y = 0 \\ x_i & \text{se } y = 1 \end{cases}$$

(resolva primeiro para 1, 2, 3, ...)

- Problema 3:** Faça um circuito com  $n + 1$  entradas,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0, y$  e  $n$  saídas  $z_{n-1}, z_{n-1}, \dots, z_1, z_0$  tal que:

$$\text{para todo } i \text{ entre } 0 \text{ e } n - 1, z_i = \begin{cases} 0 & \text{se } y = 0 \\ x_i & \text{se } y = 1 \end{cases}$$

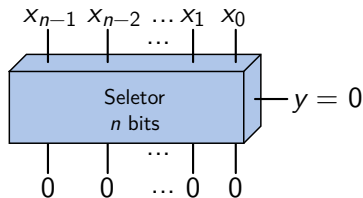
(resolva primeiro para 1, 2, 3, ...)



- Problema 3:** Faça um circuito com  $n + 1$  entradas,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0, y$  e  $n$  saídas  $z_{n-1}, z_{n-1}, \dots, z_1, z_0$  tal que:

$$\text{para todo } i \text{ entre } 0 \text{ e } n - 1, z_i = \begin{cases} 0 & \text{se } y = 0 \\ x_i & \text{se } y = 1 \end{cases}$$

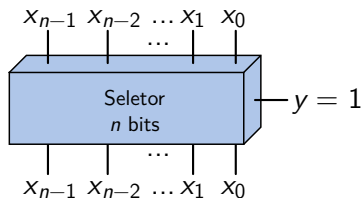
(resolva primeiro para 1, 2, 3, ...)



- Problema 3:** Faça um circuito com  $n + 1$  entradas,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0, y$  e  $n$  saídas  $z_{n-1}, z_{n-1}, \dots, z_1, z_0$  tal que:

$$\text{para todo } i \text{ entre } 0 \text{ e } n - 1, z_i = \begin{cases} 0 & \text{se } y = 0 \\ x_i & \text{se } y = 1 \end{cases}$$

(resolva primeiro para 1, 2, 3, ...)

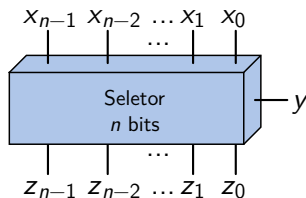




- Problema 3:** Faça um circuito com  $n + 1$  entradas,  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0, y$  e  $n$  saídas  $z_{n-1}, z_{n-1}, \dots, z_1, z_0$  tal que:

$$\text{para todo } i \text{ entre } 0 \text{ e } n - 1, z_i = \begin{cases} 0 & \text{se } y = 0 \\ x_i & \text{se } y = 1 \end{cases}$$

(resolva primeiro para 1, 2, 3, ...)



- **Problema 4:** Faça um multiplicador para dois números sem sinal de dois bits cada, agora usando blocos somadores.

- **Problema 4:** Faça um multiplicador para dois números sem sinal de dois bits cada, agora usando blocos somadores.
- **Problema 5:** Idem 4, mas agora para números de  $n$  bits sem sinal (pode ajudar se você pensar nos casos particulares primeiro:  $n = 3$ ,  $n = 4$ , ...)

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

**Decodificador de controle remoto:** com este circuito simples, você poderá ver a forma de onda emitida por um controle remoto de TV/DVD/aparelho de som/etc. Você irá gastar em torno de 6 reais nestas peças:

- 1 fototransistor infravermelho (receptor infravermelho);
- 1 cabo de áudio com um plug P2 macho em uma ponta e dois ou três plugs RCA macho na outra (cabo para ligar o computador em amplificador).



e



ou



# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.
- 3 Baixe e execute o Audacity: <http://audacity.sourceforge.net>

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.
- 3 Baixe e execute o Audacity: <http://audacity.sourceforge.net>
- 4 Plugue o cabo na entrada de microfone do seu computador.



# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.
- 3 Baixe e execute o Audacity: <http://audacity.sourceforge.net>
- 4 Plugue o cabo na entrada de microfone do seu computador.
- 5 Com sua mão, mantenha o terminal mais comprido do fototransistor ligado ao pino interno do plug RCA, e o terminal mais curto ligado à conexão externa (se seu computador só possui 1 conexão de áudio, use o plug amarelo; caso contrário, use o vermelho)

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

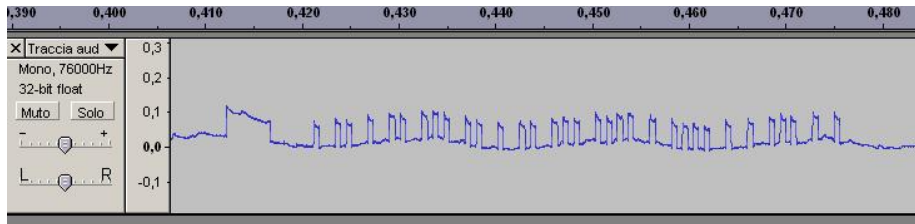
- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.
- 3 Baixe e execute o Audacity: <http://audacity.sourceforge.net>
- 4 Plugue o cabo na entrada de microfone do seu computador.
- 5 Com sua mão, mantenha o terminal mais comprido do fototransistor ligado ao pino interno do plug RCA, e o terminal mais curto ligado à conexão externa (se seu computador só possui 1 conexão de áudio, use o plug amarelo; caso contrário, use o vermelho)
- 6 Pressione a tecla R no computador para gravar o “áudio” do microfone

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- 1 Primeiro, veja quantas conexões de áudio o seu computador tem:
  - ▶ Se o seu computador possui pelo menos duas conexões para áudio (uma para fone de ouvido/caixa de som, e outra para microfone) compre o cabo com 2 plugs RCA.
  - ▶ Se seu computador só possui uma conexão para áudio, compre o cabo com 3 plugs RCA
- 2 Vá a uma loja de eletrônica (ver último slide) e compre os materiais.
- 3 Baixe e execute o Audacity: <http://audacity.sourceforge.net>
- 4 Plugue o cabo na entrada de microfone do seu computador.
- 5 Com sua mão, mantenha o terminal mais comprido do fototransistor ligado ao pino interno do plug RCA, e o terminal mais curto ligado à conexão externa (se seu computador só possui 1 conexão de áudio, use o plug amarelo; caso contrário, use o vermelho)
- 6 Pressione a tecla R no computador para gravar o “áudio” do microfone
- 7 Encoste o controle remoto no fototransistor e pressione qualquer botão do controle

# PROJETO DE FINAL DE SEMANA

- Resultado:



- Resultados podem variar de acordo com a iluminação ambiente, controle remoto, qualidade da placa de som do computador e configuração dos astros.
- Se esta experiência não funcionar para você, nem tudo está perdido:
  - ▶ o cabo pode ser usado para ligar o áudio do seu computador na sua TV ou aparelho de som!
  - ▶ é possível fazer um circuito um pouco mais sensível, que garantidamente funcione, mas é necessário saber montar circuitos.

- Onde comprar:
  - ▶ Santo André: R. Gertrudes de Lima, no quarteirão entre as ruas Siqueira Campos e Cel. Francisco Amaro (há umas 4 lojas de eletrônica neste quarteirão)
  - ▶ São Paulo: Ruas transversais à Santa Efigênia, em particular a Rua dos Timbiras.
- Se você quer gastar menos, e tiver um fone de ouvido com defeito (todo mundo tem um no fundo de alguma gaveta), dá para desencapar o cabo do fone e usá-lo para conectar o fototransistor ao computador.
  - ▶ se você já tiver o cabo, o custo fica em menos de 1 real!
- mais informações: <http://jumpjack.wordpress.com/2008/05/20/worlds-cheapest-remote-control-replicator-just-1/>