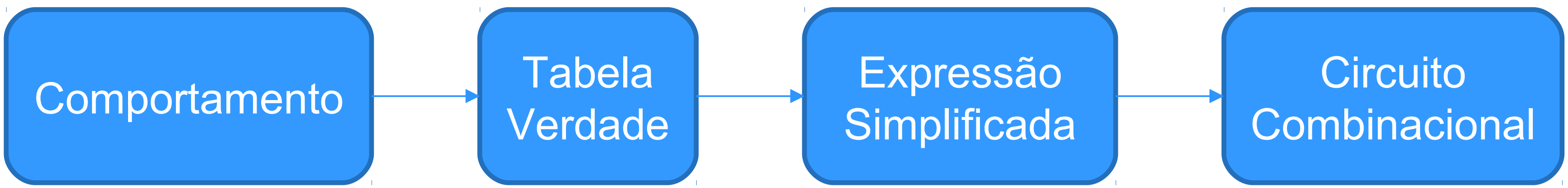
# Eletrônica Digital
## Projeto de Circuitos Combinacionais

Alex Vidigal Bastos

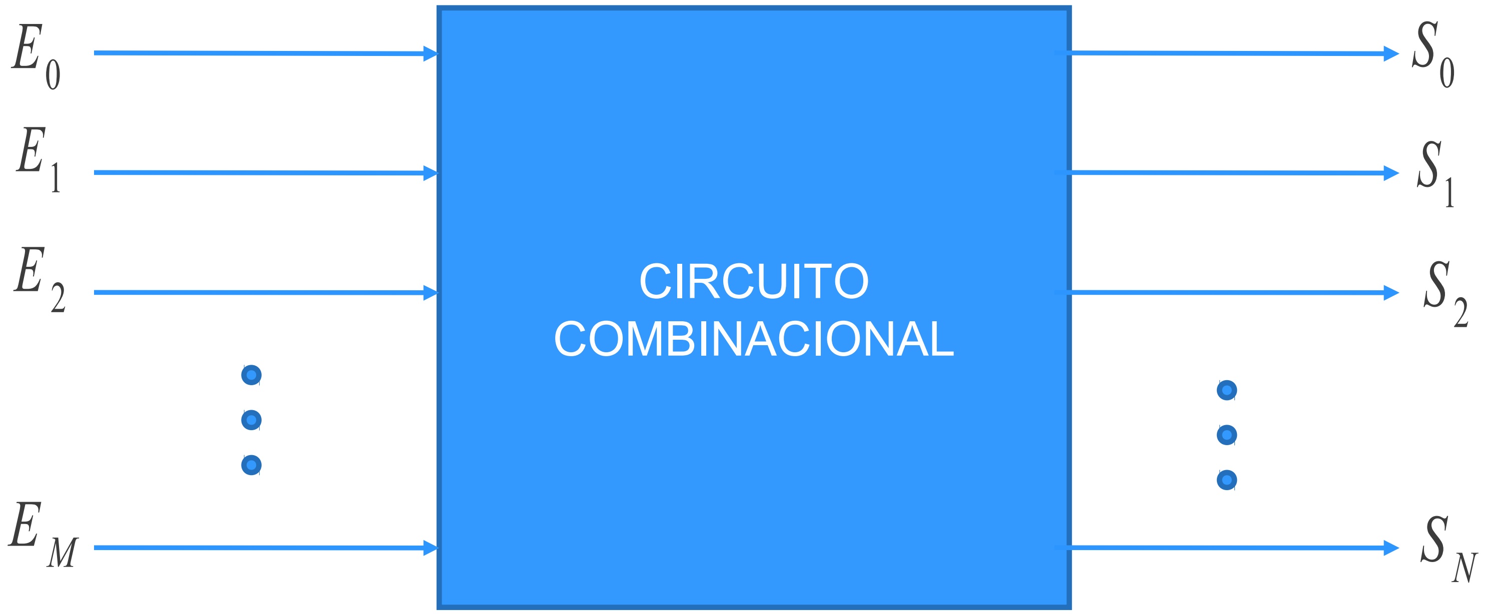
# Introdução

- O circuito combinacional é aquele em que a saída depende única e exclusivamente das combinações entre as variáveis de entrada.
- Exemplos de Circuitos combinacionais fundamentais:
  - Somadores e subtradores;
  - Execução de prioridade;
  - Codificadores e decodificadores; etc.
- A construção de circuitos combinacionais depende de expressões que caracterizam uma relação de entrada e saída, onde a saída é função de variáveis booleanas
- Tais expressões são obtidas de tabelas verdade que descrevem o comportamento completo do sistema

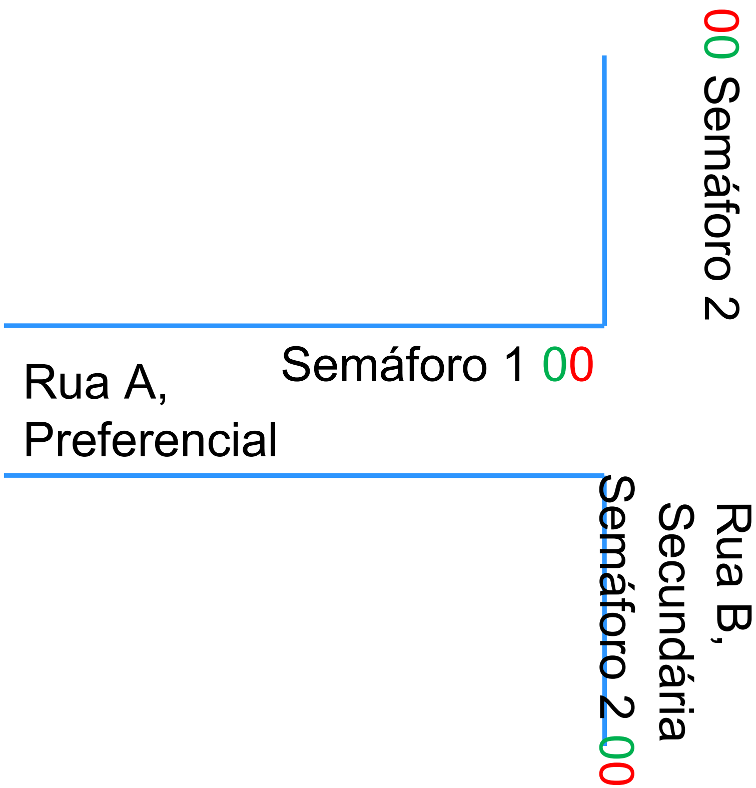
# Sequência de Obtenção de um Circuito Combinacional



# Esquema geral de um Circuito Combinacional



# Circuitos com 2 Variáveis




**Sistema automático para controle do cruzamento:**

1)Quando houver carros transitando somente na Rua B, o semáforo 2 deverá permanecer verde

1)Quando houver carros transitando somente na Rua A, o semáforo 1 deverá permanecer verde

2)Quando houver carros transitando nas Ruas A e B, o semáforo 1 deverá ser verde e o 2 vermelho

# Circuitos com 2 Variáveis

**Definições:**

1)Existência de carro na Rua A, $A=1$
2)Não existência de carro na Rua A, $A=0$
3)Existência de carro na Rua B, $B=1$
4)Não existência de carro na Rua B, $B=0$
5)Verde do sinal 1 aceso, $V_1=1$
6)Verde do sinal 2 aceso, $V_2=1$
7)Quando $V_1=1$,

a) Vermelho do semáforo 1 apagado, $V_{m1}=0$
b) Verde do semáforo 2 apagado, $V_2=0$
c) Vermelho do semáforo 2 aceso, $V_{m2}=1$

8)Quando $V_2=1$

a) $V_1=0$
b) $V_{m2}=0$
c) $V_{m1}=1$

**Repetição das regras de funcionamento**

1) carros transitando somente na Rua B, v2=1
2) carros transitando somente na Rua A, v1=1
3) carros transitando nas Ruas A e B, v1=1 e vm2=0

**Tabela Verdade**

| A | B | V1 | Vm1 | V2 | Vm2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

# Circuitos com 2 Variáveis

**Tabela Verdade**

| A | B | V1 | Vm1 | V2 | Vm2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

**Mapas de karnaugh**

| $V_1$ | $\bar{B}$ | $B$ |
|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 0 | 0 |
| $A$ | 1 | 1 |

| $V_{m1}$ | $\bar{B}$ | $B$ |
|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 1 | 1 |
| $A$ | 0 | 0 |

| $V_2$ | $\bar{B}$ | $B$ |
|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 1 | 1 |
| $A$ | 0 | 0 |

| $V_{m2}$ | $\bar{B}$ | $B$ |
|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 0 | 0 |
| $A$ | 1 | 1 |

**Expressões Booleanas**

$$V_1 = V_{m2} = A$$

$$V_2 = V_{m1} = \bar{A}$$

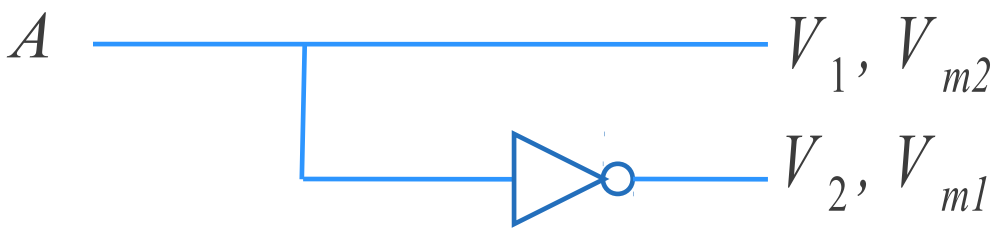
# Circuitos com 2 Variáveis

**Expressões Booleanas**

$$V_1 = V_{m2} = A$$

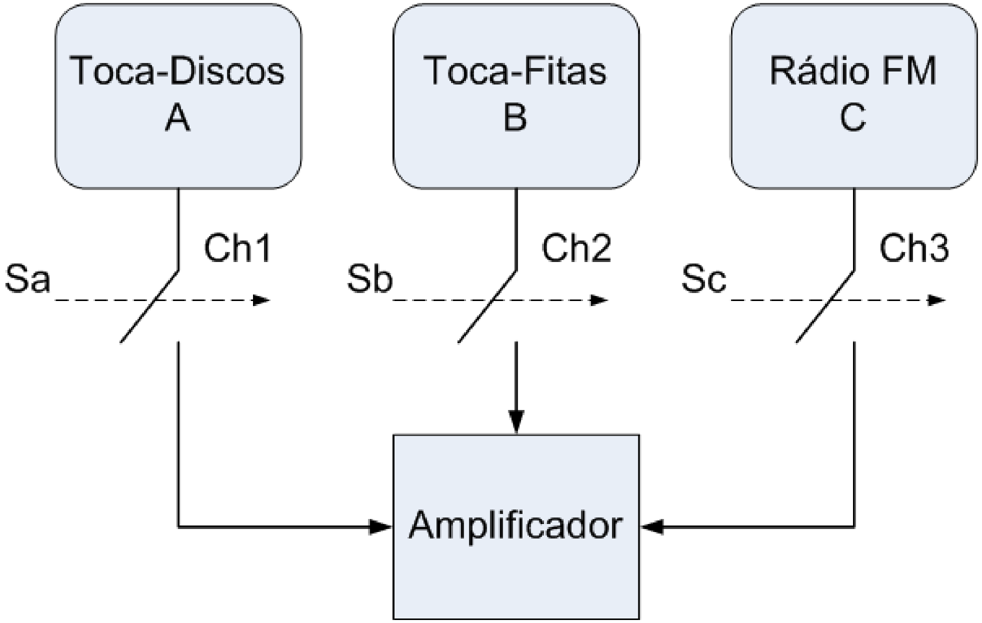
$$V_2 = V_{m1} = \overline{A}$$

**Circuito Lógico**



# Circuitos com 3 Variáveis

- **Descrição:** Deseja-se utilizar um amplificador para ligar três aparelhos : um toca-fitas; um toca-discos; e um rádio FM. As seguintes prioridades devem ser consideradas:
  - 1ª prioridade: Toca-discos
  - 2ª prioridade: Toca-fitas
  - 3ª prioridade: Rádio FM




**Convenções:**

- Variáveis de entrada (A, B e C):
  - Aparelho ligado = 1;
  - Aparelho desligado=0
- Saídas (Sa, Sb e Sc):
  - Chave aberta = 0
  - Chave fechada = 1

# Circuitos com 3 Variáveis

- **Prioridades**
  - 1ª prioridade: Toca-discos
  - 2ª prioridade: Toca-fitas
  - 3ª prioridade: Rádio FM

**Convenções:**

- Variáveis de entrada (A, B e C):
  - Aparelho ligado = 1;
  - Aparelho desligado=0
- Saídas (Sa, Sb e Sc):
  - Chave aberta = 0
  - Chave fechada = 1

**Tabela Verdade**

| A | B | C | Sa | Sb | Sc |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | | | |
| 0 | 0 | 1 | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | |
| 0 | 1 | 1 | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | |
| 1 | 1 | 0 | | | |
| 1 | 1 | 1 | | | |

# Circuitos com 3 Variáveis

- **Prioridades**
  - 1ª prioridade: Toca-discos
  - 2ª prioridade: Toca-fitas
  - 3ª prioridade: Rádio FM

**Convenções:**

- Variáveis de entrada (A, B e C):
  - Aparelho ligado = 1;
  - Aparelho desligado=0
- Saídas (Sa, Sb e Sc):
  - Chave aberta = 0
  - Chave fechada = 1

**Tabela Verdade**

| A | B | C | Sa | Sb | Sc |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | x | x | x |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

# Circuitos com 3 Variáveis

## Mapas de Karnaugh

| Sa | $\bar{B}$ | | $B$ | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{C}$ | $C$ | $C$ | $\bar{C}$ |
| $\bar{A}$ | x | 0 | 0 | 0 |
| $A$ | 1 | 1 | 1 | 1 |

$Sa = A$

| Sc | $\bar{B}$ | | $B$ | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{C}$ | $C$ | $C$ | $\bar{C}$ |
| $\bar{A}$ | x | 1 | 0 | 0 |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Sb | $\bar{B}$ | | $B$ | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{C}$ | $C$ | $C$ | $\bar{C}$ |
| $\bar{A}$ | x | 0 | 1 | 1 |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 |

$Sb = \bar{A}\,B$

$Sc = \bar{A}\,B$

## Tabela Verdade

| A | B | C | Sa | Sb | Sc |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | x | x | x |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

# Circuitos com 3 Variáveis

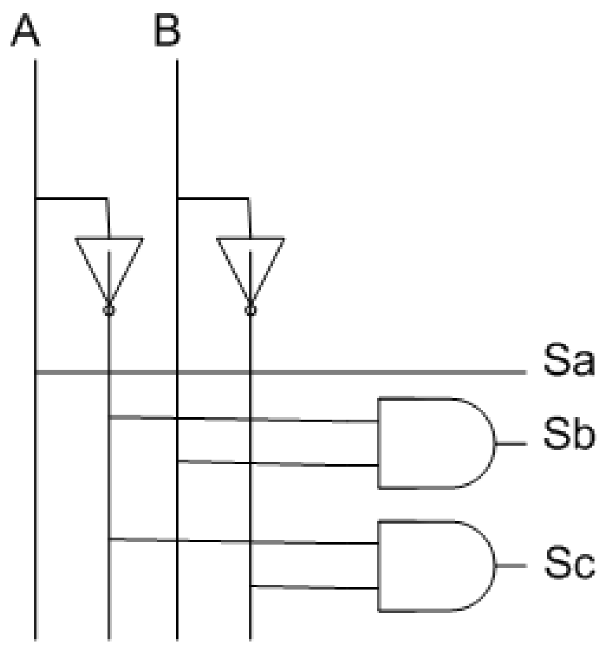
## Expressões Booleanas

$Sa = A$

$Sb = \overline{A}\,B$

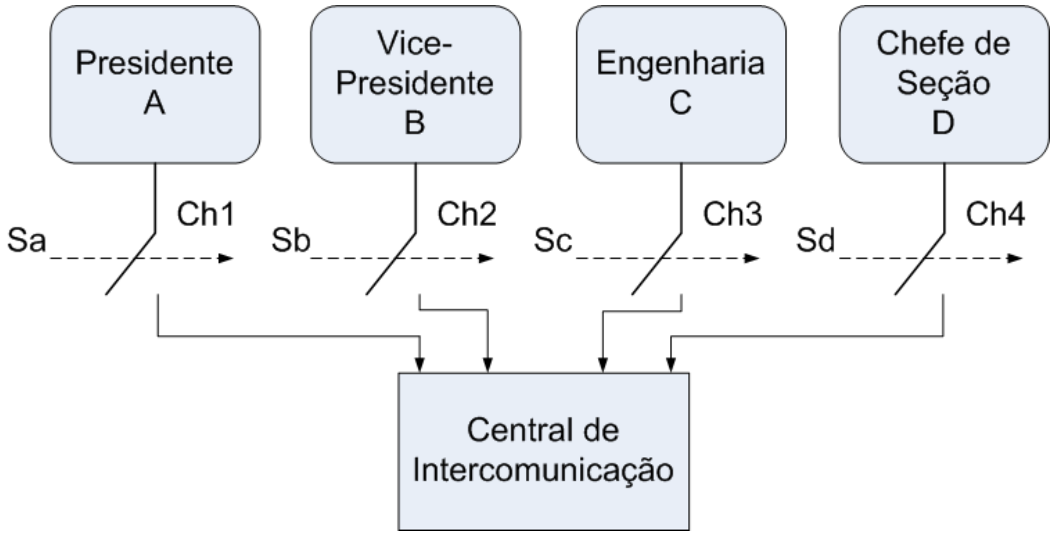
$Sc = \overline{A}\,\overline{B}$

## Circuito Lógico



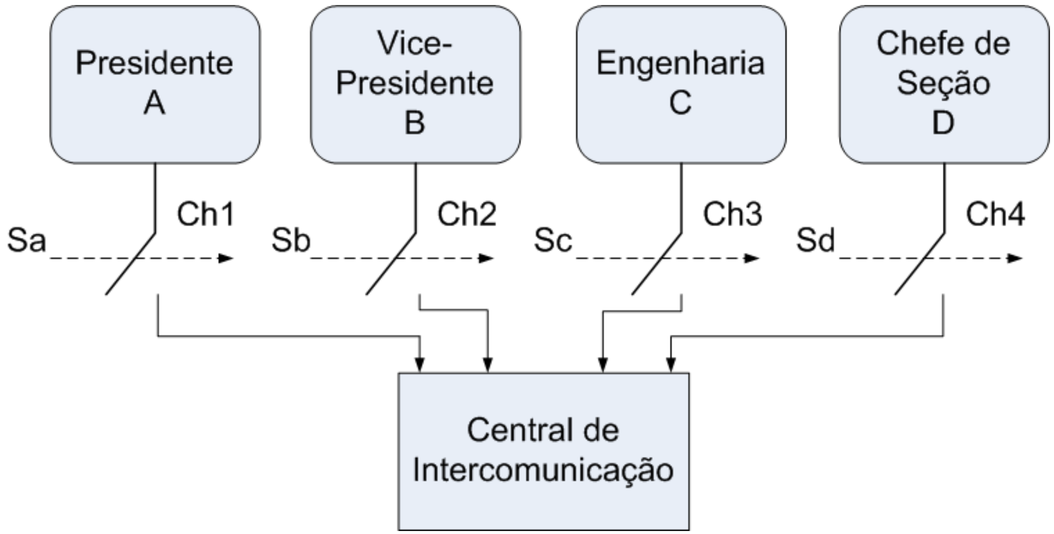
# Circuitos com 4 Variáveis

- **Descrição:** Uma empresa deseja implantar um esquema de prioridades nos seus intercomunicadores da seguinte forma:
  - Presidente: 1ª prioridade
  - Vice-Presidente: 2ª prioridade
  - Engenharia: 3ª prioridade
  - Chefe de Seção: 4ª prioridade



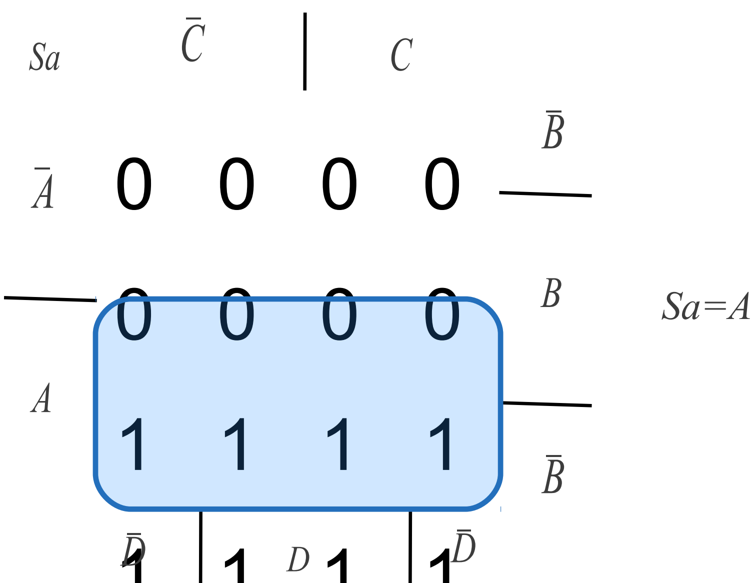
# Circuitos com 4 Variáveis

- **Convenções**
  - Presença de chamada (A, B, C e/ou D) = 1
  - Ausência de chamada (A, B, C e/ou D) = 0
  - Efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd) = 1
  - Não efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd)=0



# Circuitos com 4 Variáveis

- **Convenções**
  - Presença de chamada (A, B, C e/ou D) = 1
  - Ausência de chamada (A, B, C e/ou D) = 0
  - Efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd) = 1
  - Não efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd)=0




| A | B | C | D | Sa | Sb | Sc | Sd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

# Circuitos com 4 Variáveis

- **Convenções**
  - Presença de chamada (A, B, C e/ou D) = 1
  - Ausência de chamada (A, B, C e/ou D) = 0
  - Efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd) = 1
  - Não efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd)=0

| $Sb$ | $\bar{C}$ | $\bar{C}$ | $C$ | $C$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | $\bar{B}$ |
| $\bar{A}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | $B$ |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 | $B$ |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 | $\bar{B}$ |
| | $\bar{D}$ | $D$ | $D$ | $\bar{D}$ | |

$Sb = \bar{A} B$

| A | B | C | D | Sa | Sb | Sc | Sd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

# Circuitos com 4 Variáveis

- **Convenções**
  - Presença de chamada (A, B, C e/ou D) = 1
  - Ausência de chamada (A, B, C e/ou D) = 0
  - Efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd) = 1
  - Não efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd)=0

| $Sc$ | $\bar{C}$ | | $C$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | $\bar{B}$ |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | $B$ |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | $\bar{B}$ |
| | $\bar{D}$ | $D$ | | $\bar{D}$ | |

A B C
Sc =

| A | B | C | D | Sa | Sb | Sc | Sd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

# Circuitos com 4 Variáveis

- **Convenções**
  - Presença de chamada (A, B, C e/ou D) = 1
  - Ausência de chamada (A, B, C e/ou D) = 0
  - Efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd) = 1
  - Não efetivação de chamada (Sa, Sb, Sc ou Sd)=0

| $Sd$ | $\bar{C}$ | | $C$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{A}$ | 0 | $\boxed{1}$ | 0 | 0 | $\bar{B}$ |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | $B$ |
| $A$ | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | $\bar{B}$ |
| | $\bar{D}$ | | $D$ | $\bar{D}$ | |

$\bar{A}\ B\ \bar{C}\ D$

$Sd =$

| A | B | C | D | Sa | Sb | Sc | Sd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

# Circuitos com 4 Variáveis

## Expressões Booleanas

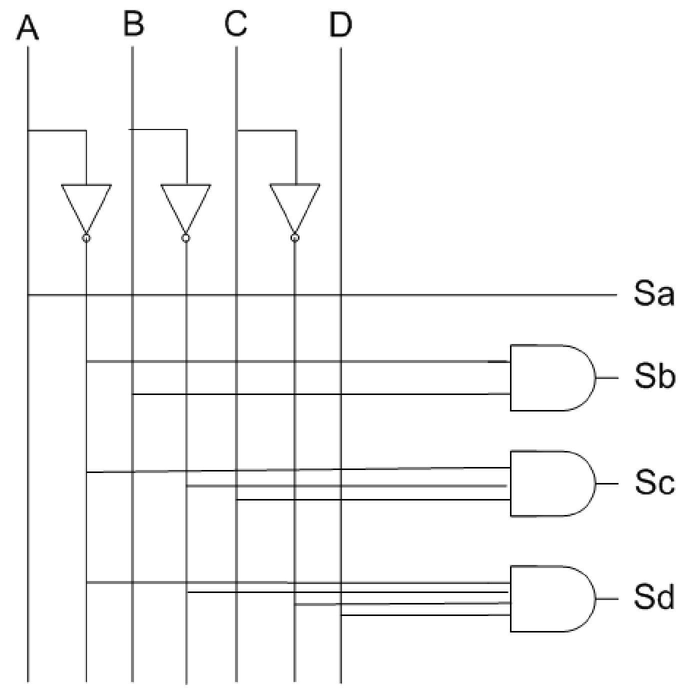
$$Sa=A$$

$$Sb=\bar{A}\,B$$

$$Sc=\bar{A}\,\bar{B}\,C$$

$$Sd=\bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}\,D$$

## Circuito Lógico



# CircuitosCombinacionais(parte2)

- Circuitos combinacionais com aplicações específicas. Aplicados em circuitos integrados.

- Entres esses circuitos específicos estão:

  - Codificadores;
  - Decodificadores;
  - Circuitos aritméticos;
    - Meio somador;
    - Somador Completo;
    - Meio Subtrator;
    - Subtrator Completo;

# Códigos

- São vários os códigos dentro do campo da eletrônica digital, existindo situações em que a utilização de um é vantajosa em relação a outro
- Trataremos dos mais importantes para nós, a saber:
  - BCD 8421
  - Gray
  - 9876543210

# Código BCD 8421

- BCD- Binary Coded Decimal – codificação o sistema decimal em binário;

- 8421 – Representam os valores de um binário como $2^3$, $2^2$, $2^1$ 2 $2^0$ te.

- O número de bits de um código é o número de dígitos binários que o código possui. Nesse caso BCD 8421, 4 bits.

- Representa os dígitos decimais de 0 a 9.

# Código 8421

| BCD 8421 | | | |
|---|---|---|---|
| A | B | C | D |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

# Códigos

- **Outros Códigos de 4 bits:**
  - **BCD 7421, BCD 5211 E BCD 2421**

| Decimal | BCD 7421 | BCD 5211 | BCD 2421 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 0000 | 0000 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0001 |
| 2 | 0010 | 0011 | 0010 |
| 3 | 0011 | 0101 | 0011 |
| 4 | 0100 | 0111 | 0100 |
| 5 | 0101 | 1000 | 1011 |
| 6 | 0110 | 1001 | 1100 |
| 7 | 1000 | 1011 | 1101 |
| 8 | 1001 | 1101 | 1110 |
| 9 | 1010 | 1111 | 1111 |

# Código Excesso 3

- É a transformação de um decimal para binário somando-se 3 unidades.

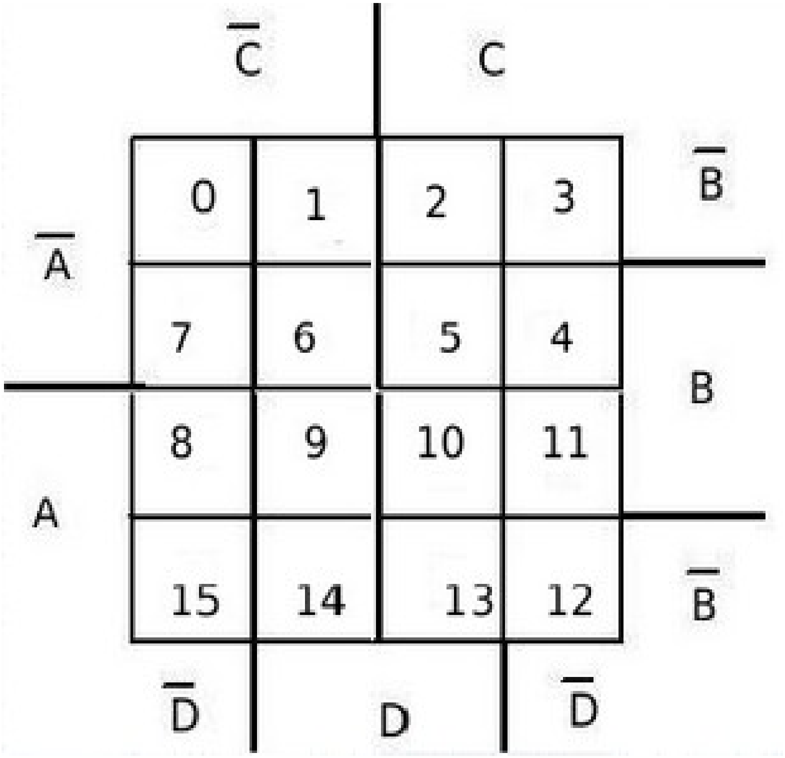
| Decimal | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 1 | 0 | 0 |

# Código Gray

- Sua característica é de que um número para outro só varia um bit.

| Gray | | | |
|---|---|---|---|
| A | B | C | D |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |

# Código Gray



$\overline{C}$
C
$\overline{B}$
$\overline{A}$
0
1
2
3
7
6
5
4
B
8
9
10
11
A
15
14
13
12
$\overline{B}$
$\overline{D}$
D
$\overline{D}$

# Código 9876543210

| Dec. | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

# Codificadores e Decodificadores

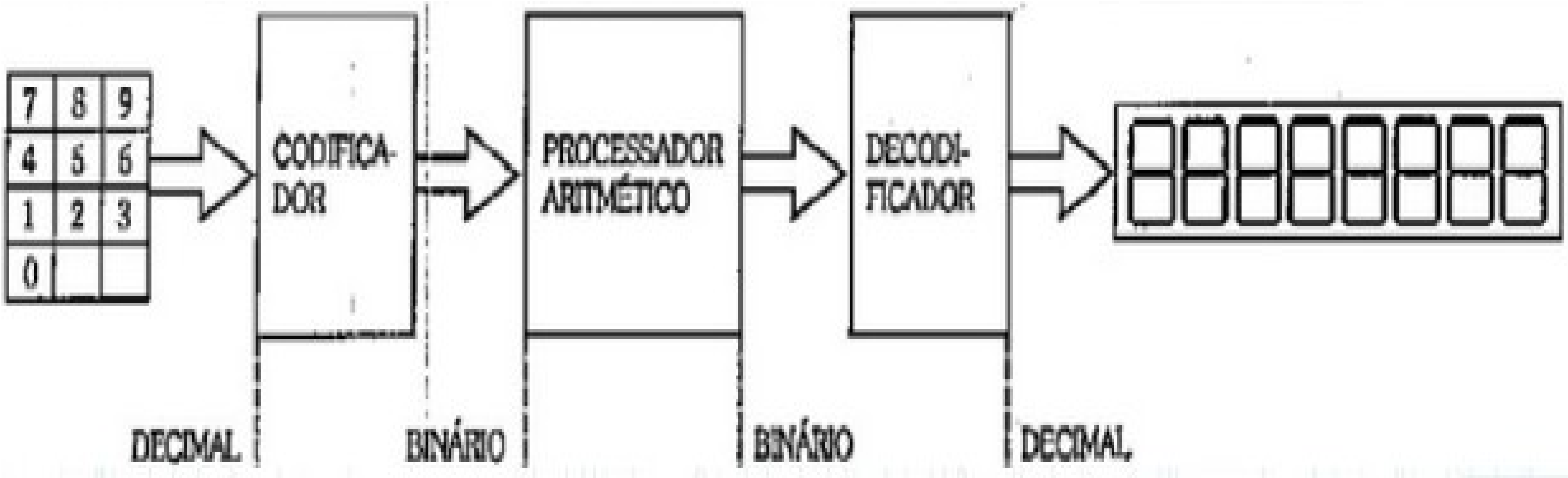
*Definição*: Codificador é um circuito combinacional que torna possível a passagem de um código conhecido para um desconhecido.

Exemplo: A calculadora transforma uma entrada decimal em saída binária processável por seu circuito interno.

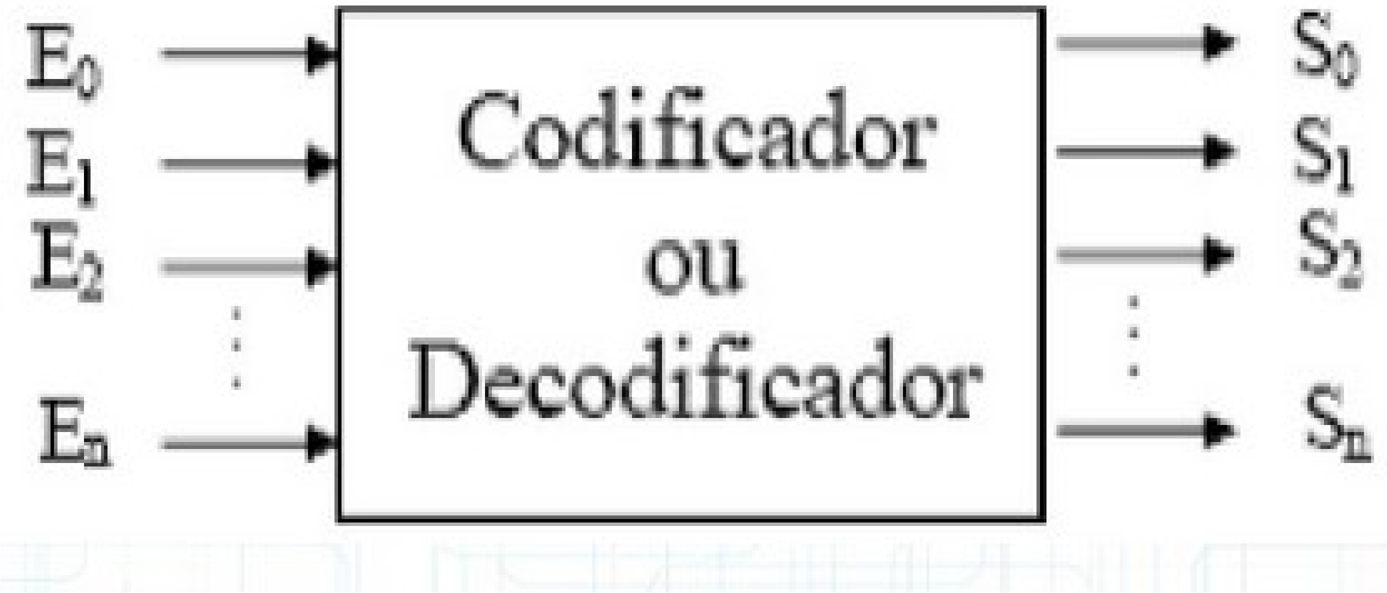
*Definição*: Decodificador é o circuito que faz o inverso do codificador, ou seja, passa um código desconhecido para um conhecido.

Exemplo: No exemplo da calculadora, o resultado do processamento interno, em binário, é convertido para decimal na forma compatível para um mostrador digital apresentar os algarismos.

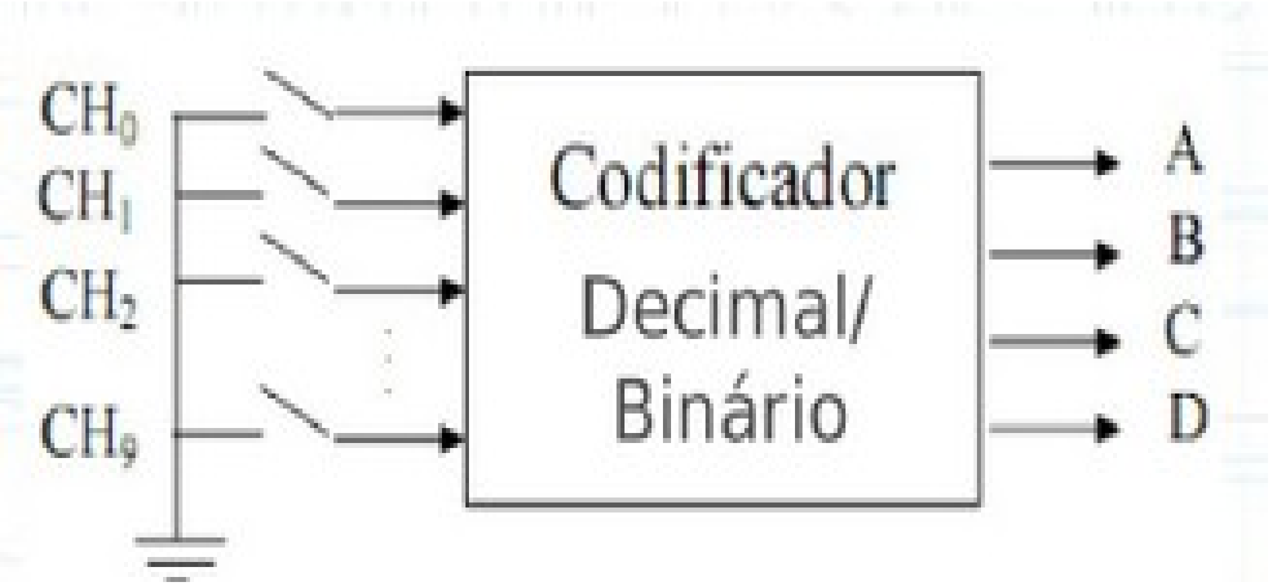
# Codificadores e Decodificadores



# Codificadores e Decodificadores



# Código 9876543210 para BCD 8421



# Código 9876543210 para BCD 8421

| CH_0 | CH_1 | CH_2 | CH_3 | CH_4 | CH_5 | CH_6 | CH_7 | CH_8 | CH_9 | A B C D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 0 0 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 0 0 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 0 1 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 0 1 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 1 0 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 1 0 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 1 1 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 1 1 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 0 0 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 0 0 1 |

# Código 9876543210 para BCD 8421

| CHAVES | A B C D |
|---|---|
| CH_0 | 0 0 0 0 |
| CH_1 | 0 0 0 1 |
| CH_2 | 0 0 1 0 |
| CH_3 | 0 0 1 1 |
| CH_4 | 0 1 0 0 |
| CH_5 | 0 1 0 1 |
| CH_6 | 0 1 1 0 |
| CH_7 | 0 1 1 1 |
| CH_8 | 1 0 0 0 |
| CH_9 | 1 0 0 1 |

# Código 9876543210 para BCD 8421

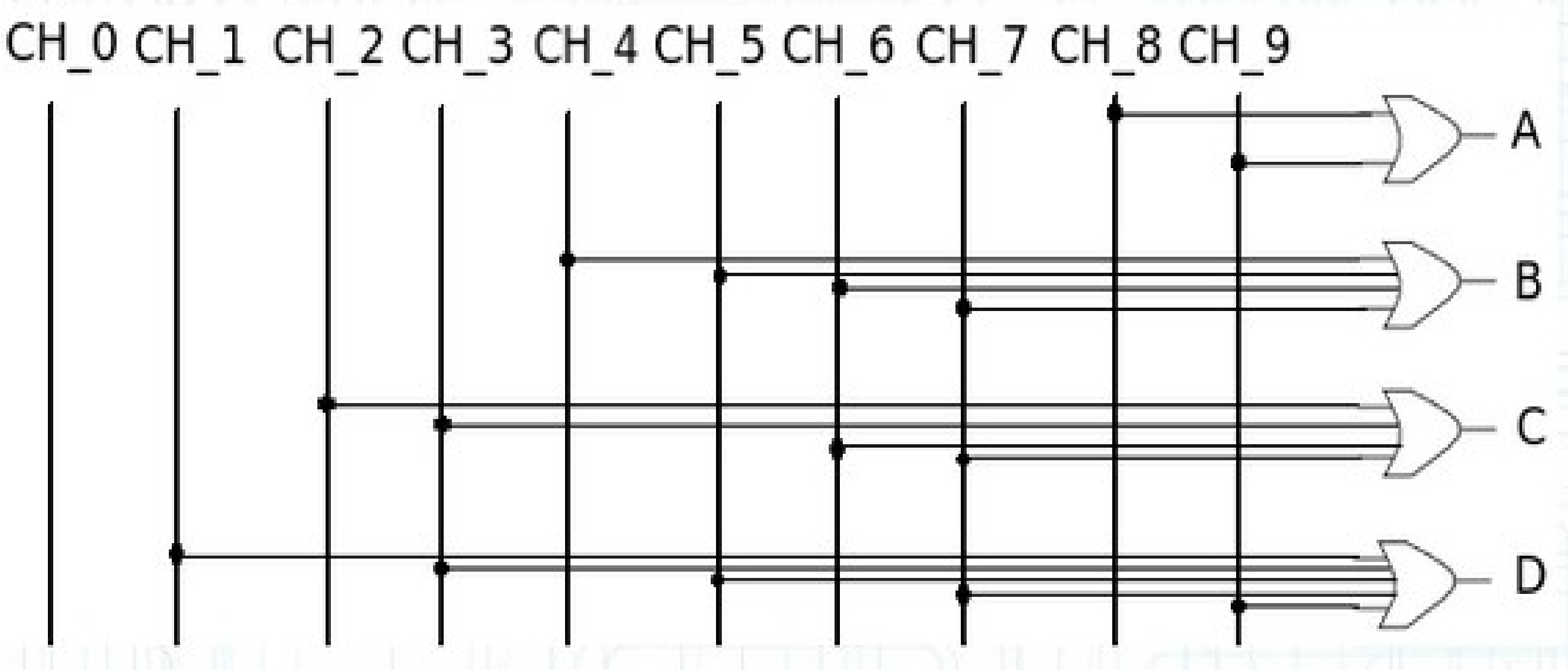
$A = CH\_8 + CH\_9$

$B = CH\_4 + CH\_5 + CH\_6 + CH\_7$

$C = CH\_2 + CH\_3 + CH\_6 + CH\_7$

$D = CH\_1 + CH\_3 + CH\_5 + CH\_7 + CH\_9$

# Código 9876543210 para BCD 8421



# BCD 8421 para Código 9876543210

# BCD 8421 para Código 9876543210

| BCD 8421 | CÓDIGO 9876543210 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A B C D | S9 | S8 | S7 | S6 | S5 | S4 | S3 | S2 | S1 | S0 |
| 0 0 0 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 0 0 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 0 1 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 0 1 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 0 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 0 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 1 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 1 1 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 0 0 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 0 0 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

# BCD 8421 para Código 9876543210

– Simplifique e desenhe o circuito do decodificador

$S9 = AD$

$S8 = A\overline{D}$

$S7 = BCD$

$S6 = BC\overline{D}$

$S5 = B\overline{C}D$

$S4 = B\overline{C}\,\overline{D}$

$S3 = \overline{B}CD$

$S2 = \overline{B}C\overline{D}$

$S1 = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}D$

$S0 = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,\overline{D}$

# Codificadores e Decodificadores

## Decodificadores

– Decodificadores passam de qualquer código para qualquer outro, para isso, basta construir a tabela verdade e montar o circuito.

1) Elabore um decodificador de BCD8421 para Excesso 3.

2) Elabore um decodificador de Excesso 3 para BCD8421

# Circuitos Aritméticos

- São circuitos combinacionais com finalidades específicas;

- Usados principalmente na construção da ULA (Unidade Lógica Aritmética)

- São circuitos aritméticos
  - Meio Somador / Somador Completo;
  - Meio Subtrator / Subtrator Completo;
  - Somador/ Subtrator Completo

# Meio Somador

- O meio somador (***Half Adder***) se comporta com as regras básicas da adiição binária com duas entradas A e B, produzindo saídas (soma e ***carry***).
- Efetua a soma do binário de 1 algarismo;
- Abaixo segue o comportamento do circuito:

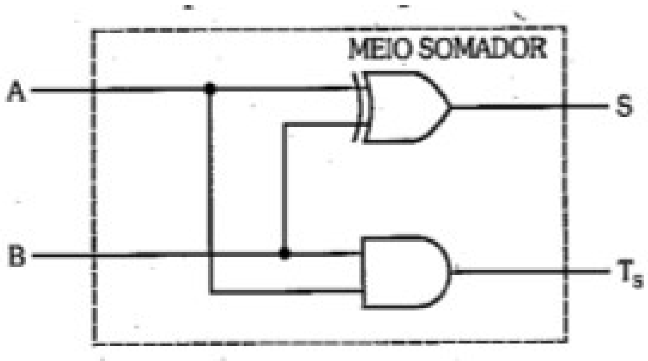
| Entrada | | Saida | |
|---|---|---|---|
| A | B | Soma | Carry |
| 0 | 0 | 0 | 0 |

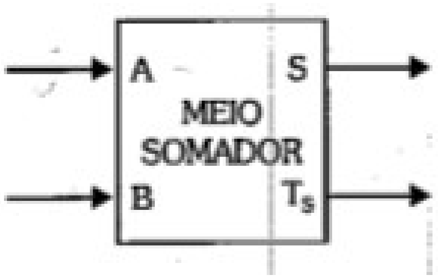
# Meio Somador

- Expressões booleanas e circuito lógico:

$$S = A \oplus B$$

$$C = A.B$$



# Somador Completo

- Diferente do meio somador este circuito efetua a soma de números binários de mais algarismo, podendo acrescentar o transporte na soma.

- Um somador completo possui 3 entradas binárias, e 2 saídas. Senda esta 3 entrada o transporte de entrada.

- Um somador completo considera na soma o transporte de entrada.

# Somador Completo

- Segue abaixo o comportamento da tabela verdade do circuito.

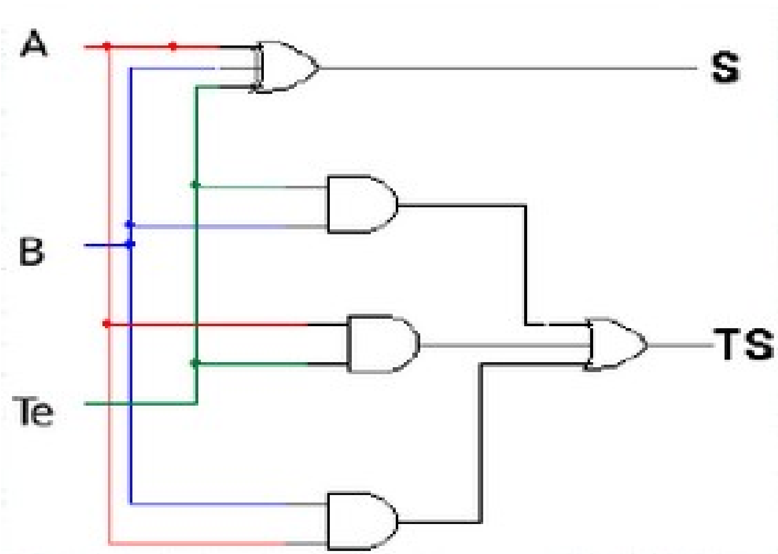
| A | B | Carry Entrada (Te) | Soma | Carry Saida (Ts) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

# Somador Completo

- Expressões booleanas e os circuitos:

$$S = A \oplus B \oplus Te$$

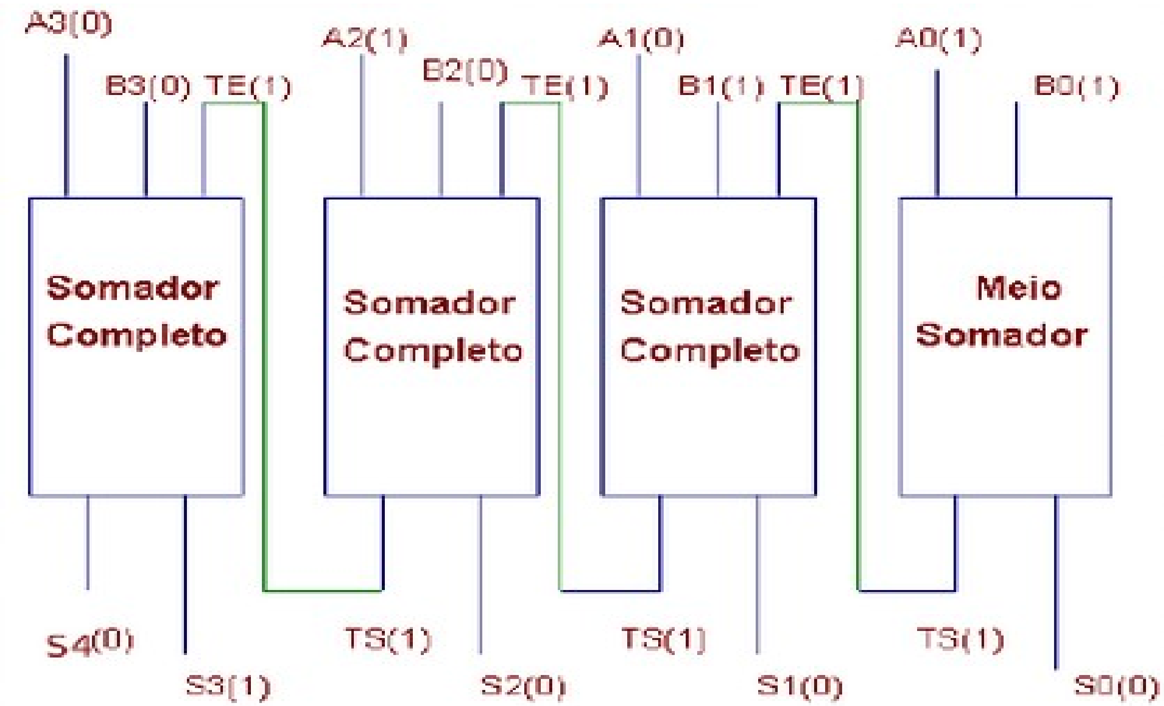
$$Ts = B.Te + A.Te + A.B$$




# Somador Completo

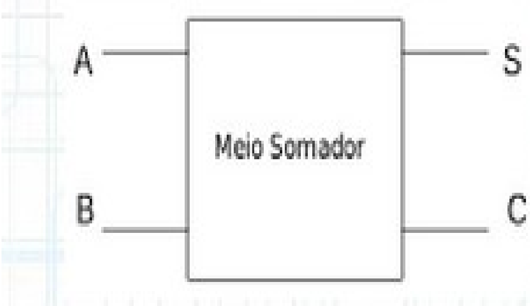
- Utilizando os circuitos aritméticos efetuar uma soma de dois números binários de 4 bits:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A3 | A2 | A1 | A0 |
| + | B3 | B2 | B1 | B0 |
| S4 | S3 | S2 | S1 | S0 |



# Somador Completo

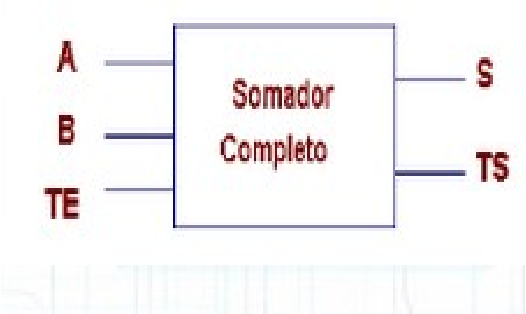
- Um somador completo a partir de meio somadores:




$$S = A \oplus B$$

$$C = A.B$$





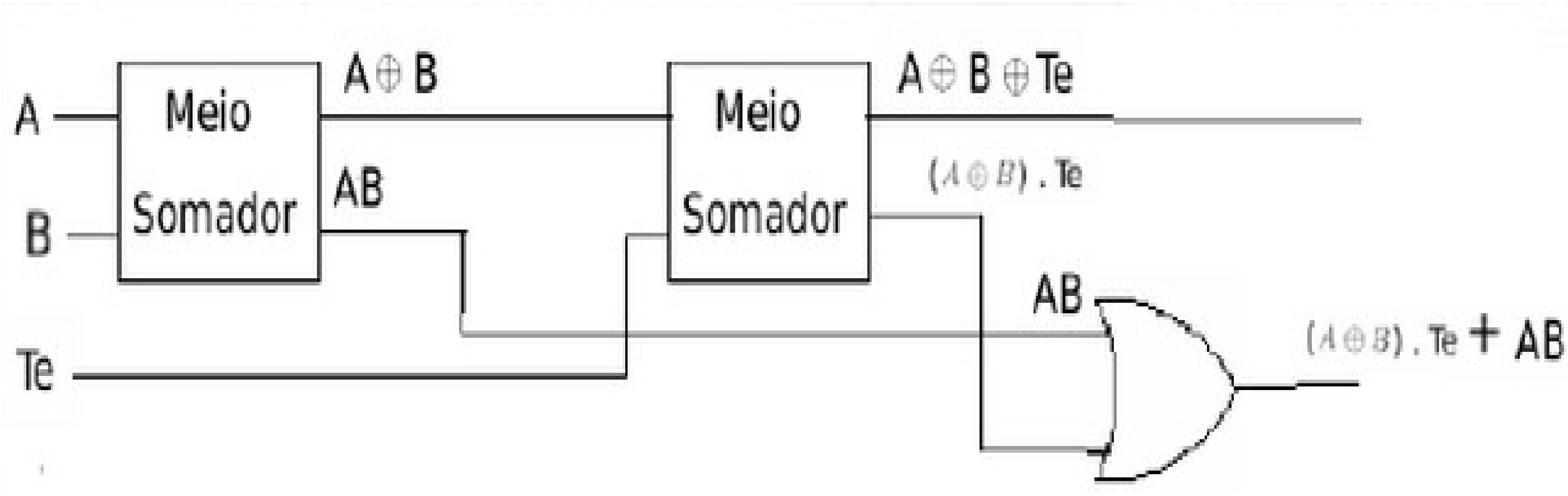

$$S = A \oplus B \oplus Te$$

$$Ts = B.Te + A.Te + A.B = \bar{A}BTe + A\bar{B}Te + AB\overline{Te} + ABTe$$

$$Ts = Te(\bar{A}B + A\bar{B}) + AB(\overline{Te} + Te) \;.:.\; \underline{Ts = Te(A \oplus B) + AB}$$

# Somador Completo

- Um somador completo a partir de meio somadores:



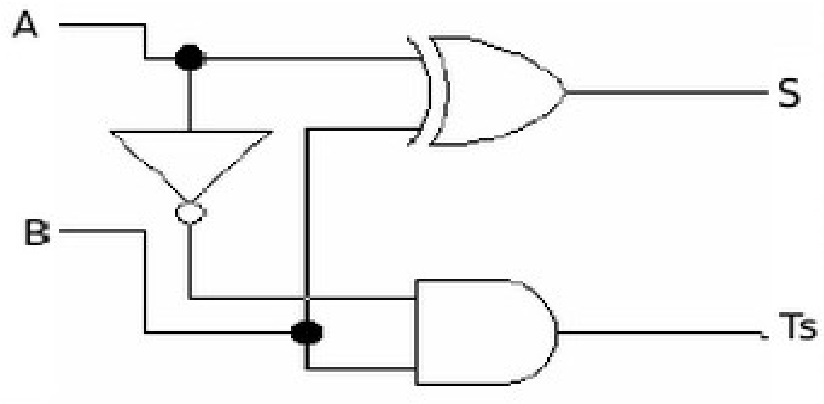
# Meio Subtrator

- Comportamento de um circuito meio subtrator

| A | B | S | Ts |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | *0* | *0* |
| 0 | 1 | *1* | *1* |
| 1 | 0 | *1* | *0* |
| 1 | 1 | *0* | *0* |

$$S = A \oplus B$$

$$Ts = \bar{A}B$$



# Subtrator Completo

- Criado para subtrair números binários com mais de um algarismo. Permitindo a entrada do transporte.

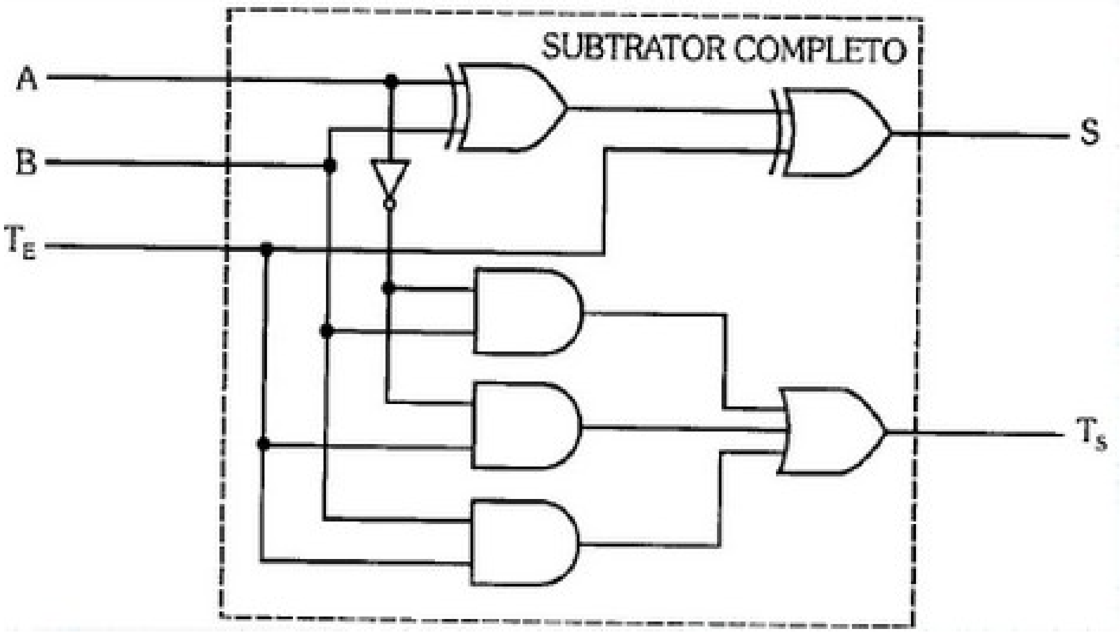
| A | B | $T_E$ | S | $T_S$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$S = A \oplus B \oplus T_E$$

$$Ts = \overline{A}B + \overline{A}T_E + BT_E$$

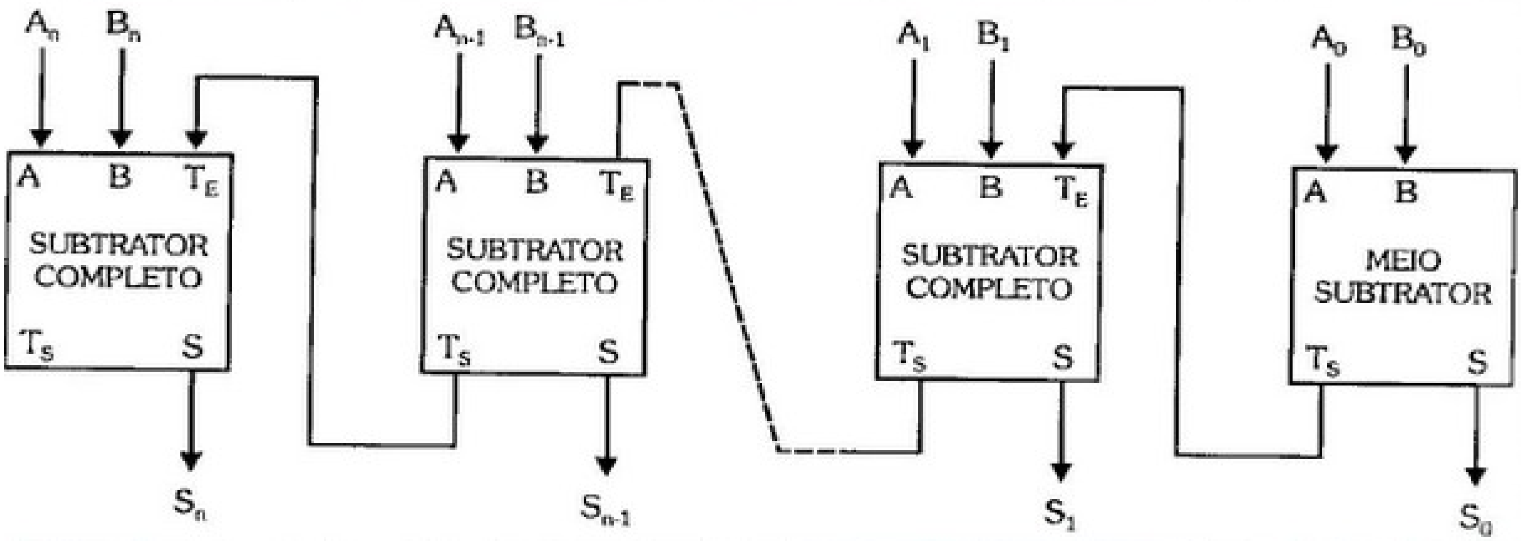
# Subtrator Completo

- Circuito do Subtrator Completo:



# Subtrator Completo

- Esquema de um sistema subtrator de 2 números de n bits:




- Obs: Ts final só será utilizado se o minuendo (An..A0) for menor que o subtraendo, indicando que o n está em complemento de 2.

# Subtrator Completo

- Um subtrator completo a partir de 2 meio subtratores:


$$S = A \oplus B$$

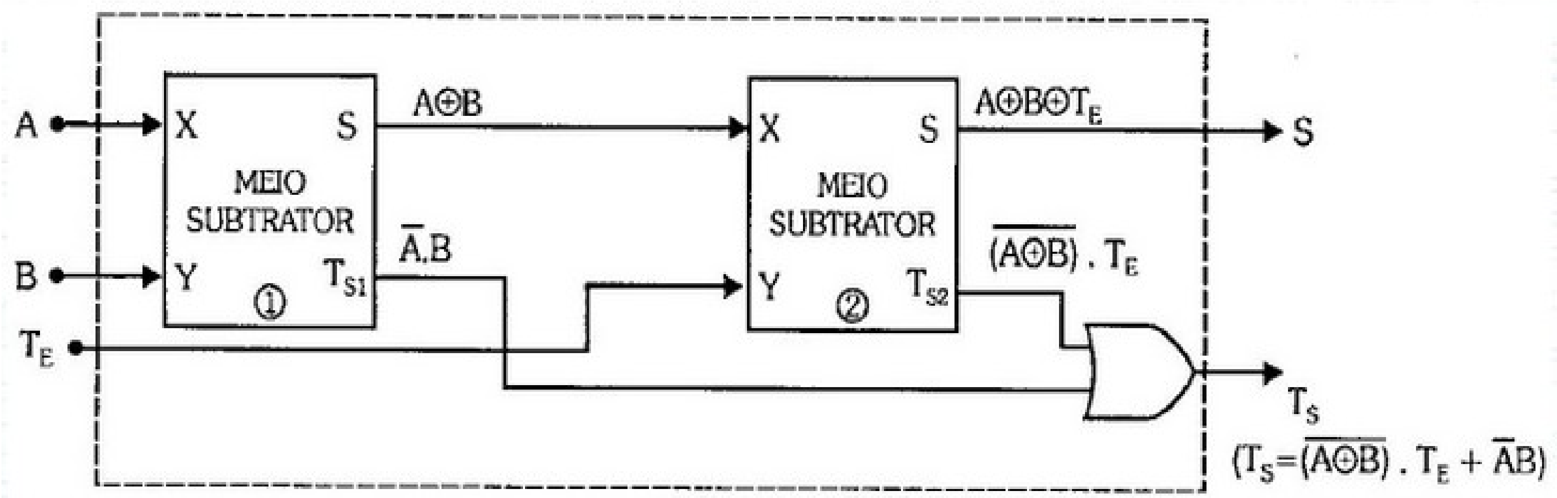
$$Ts = \bar{A}B$$


$$S = A \oplus B \oplus T_E$$

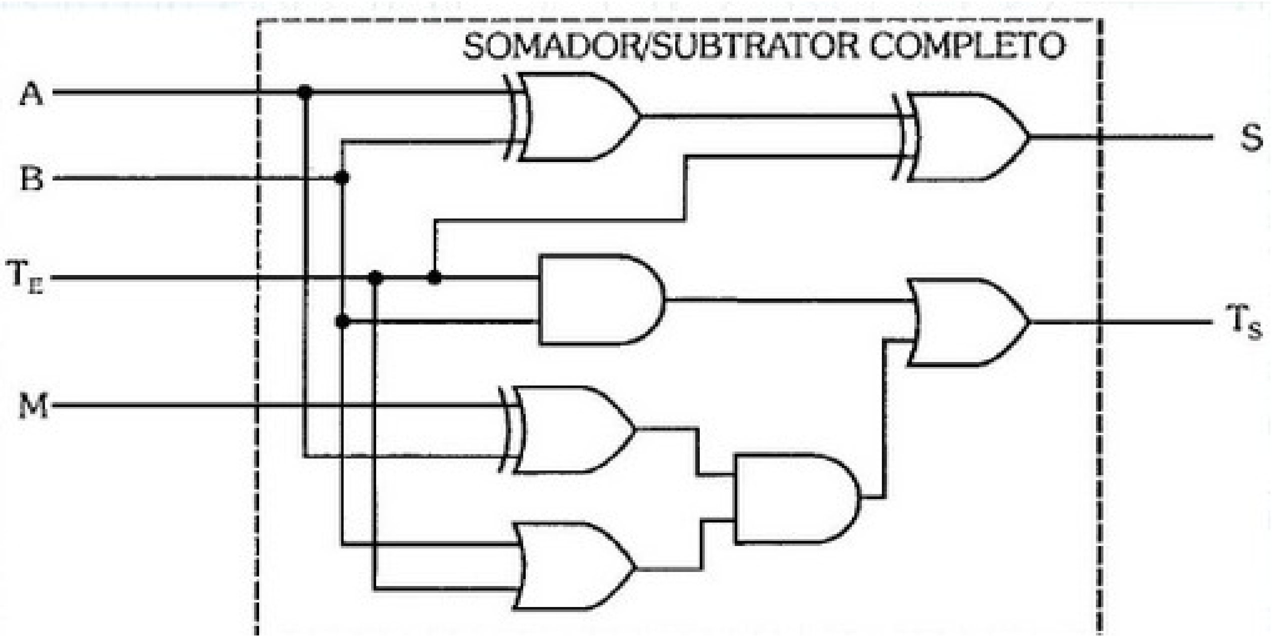
$$Ts = T_E(A \odot B) + \bar{A}B \quad \therefore \quad Ts = T_E(\overline{A \oplus B}) + \bar{A}B$$

# Subtrator Completo

- Um subtrator completo a partir de 2 meio subtratores:



# Somador / Subtrator Completo




$$S = A \oplus B \oplus Te$$

$$Ts = BT_E + (M \oplus A)(B + T_E)$$

# Exercício

Desenhe um somador para 2 números de 2 bits apenas com blocos de Somadores Completos:

# Resposta

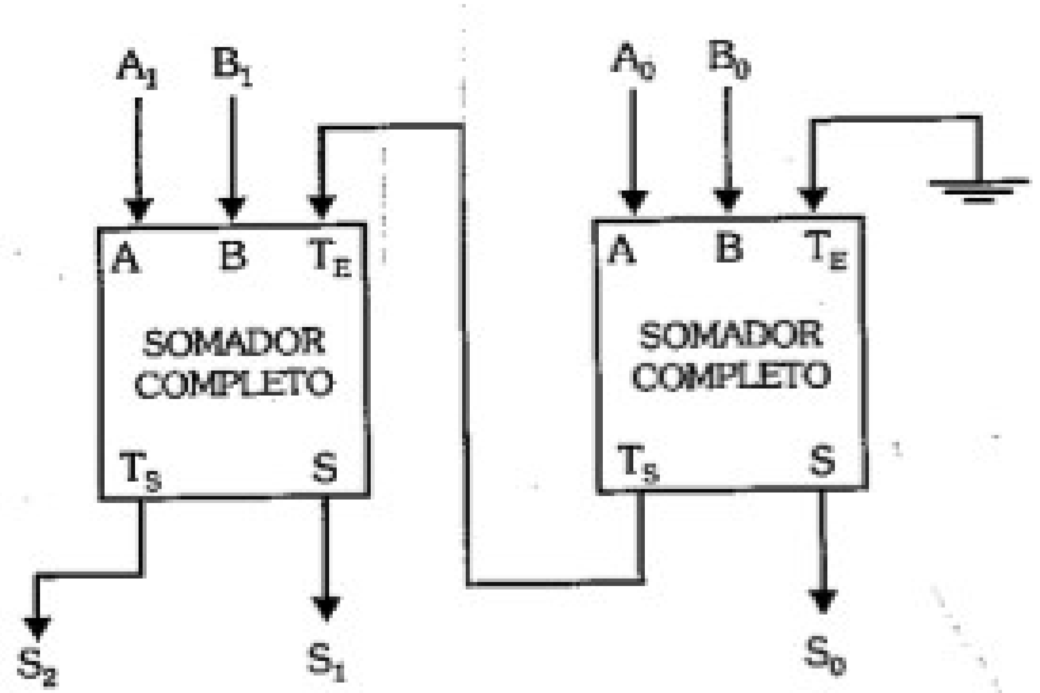


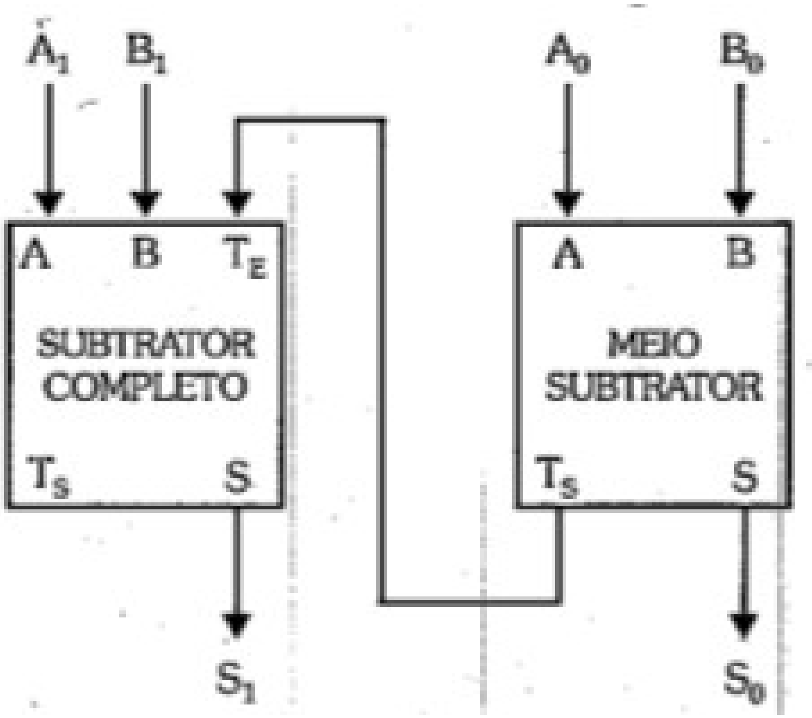

*Figura 5.59*

# Exercício

Esquematize, em blocos, um sistema subtrator para 2 números com 2 bits. O sistema proposto irá realizar a subtração do número A1A0 com o número B1B0. Assim sendo, temos:

$$
\begin{array}{rl}
 & A1\ A0 \\
- & B1\ B0 \\
\hline
 & S1\ S0
\end{array}
$$

# Resposta



A1
B1
A0
B0
A
B
TE
SUBTRATOR COMPLETO
TS
S
A
B
MEIO SUBTRATOR
TS
S
S1
S0