



Departamento de  
Engenharia Elétrica e  
de Computação

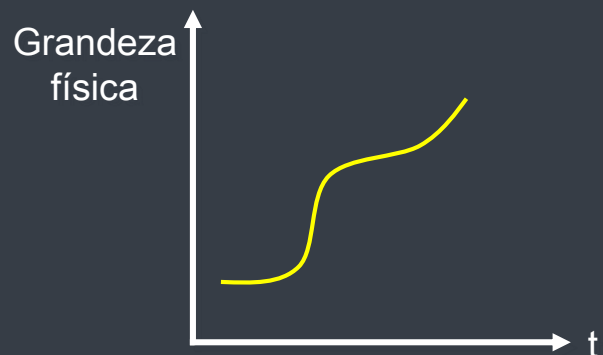
# SEL 414 - Sistemas Digitais

## CONVERSORES A/D E D/A

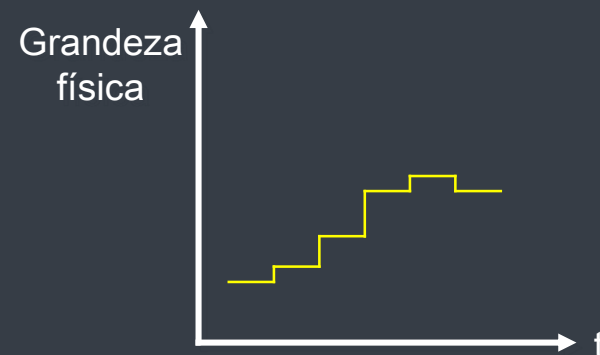
Prof. Homero Schiabel



# 1. INTRODUÇÃO



Variação contínua  
(ANALÓGICO)



Variação discreta  
(DIGITAL)

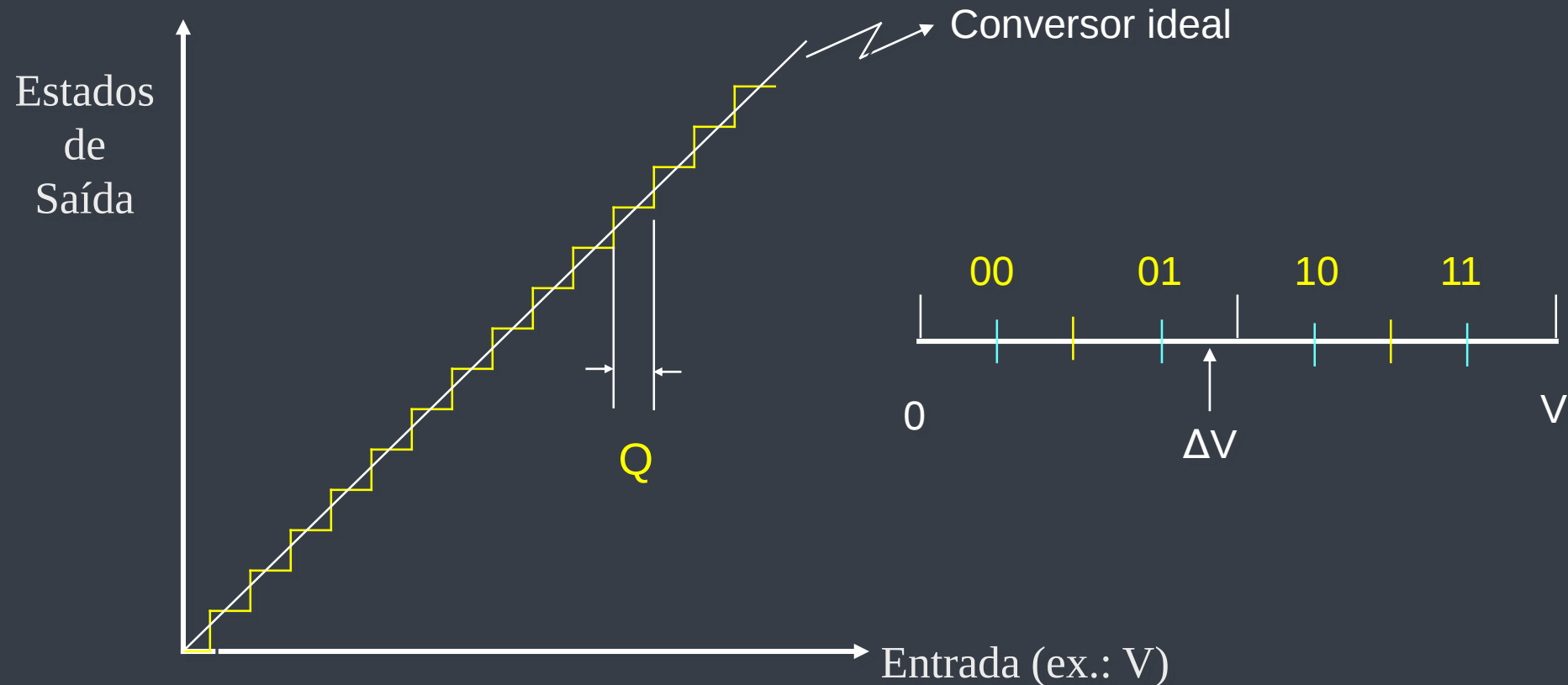
Os conversores analógicos-digitais (**A/D**) e digitais-analógicos (**D/A**) fazem a interface entre o mundo analógico e o digital.

Ex.: • **Comunicação**: sinal voz → pulsos → sinal voz reconstruído  
• **Proc. Sinais**: sinal vídeo → níveis binários (digitaliz.) → memória → processamento → reconstrução

## 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

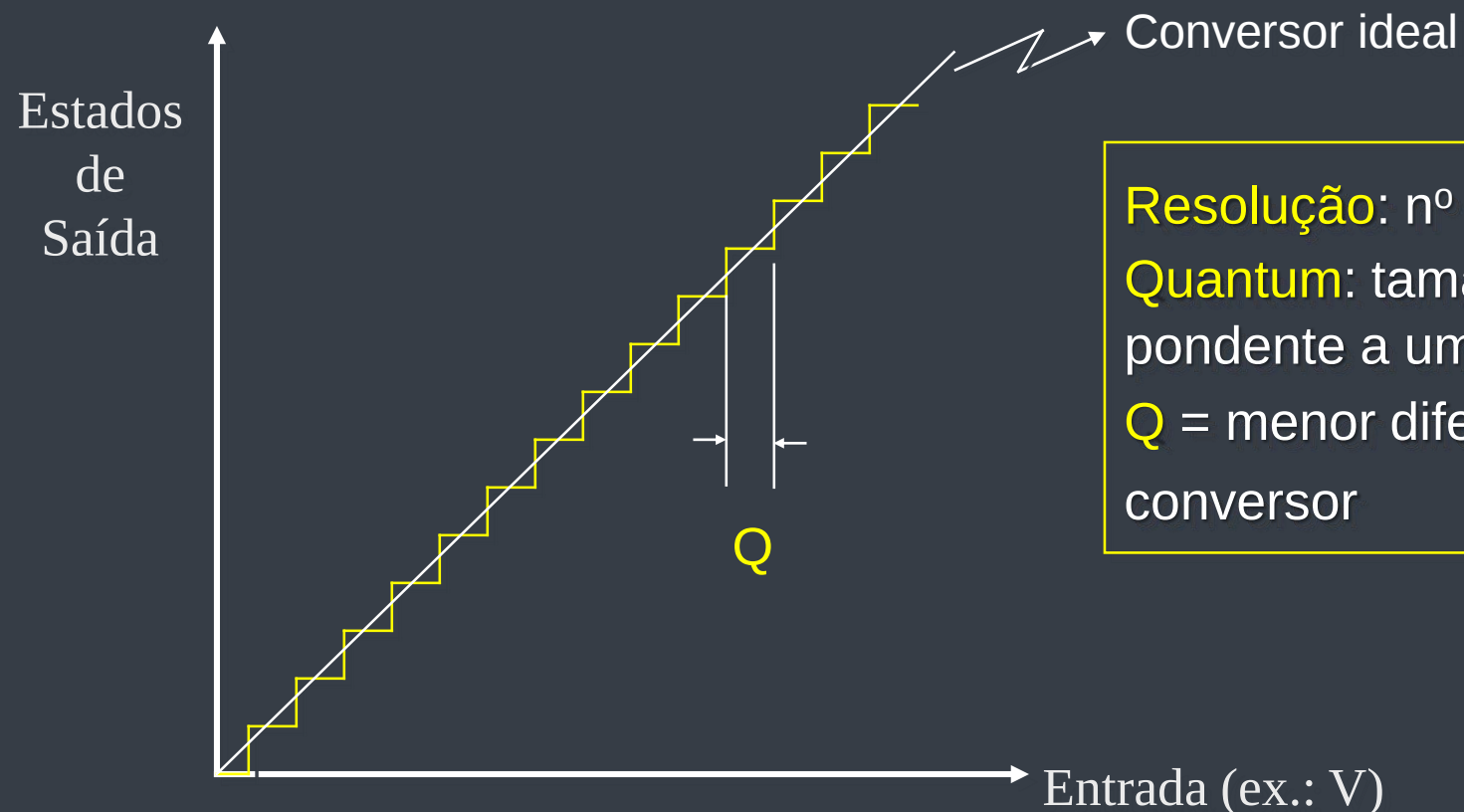
**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



## 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



**Resolução:** nº estados de saída →  $e = 2^n$

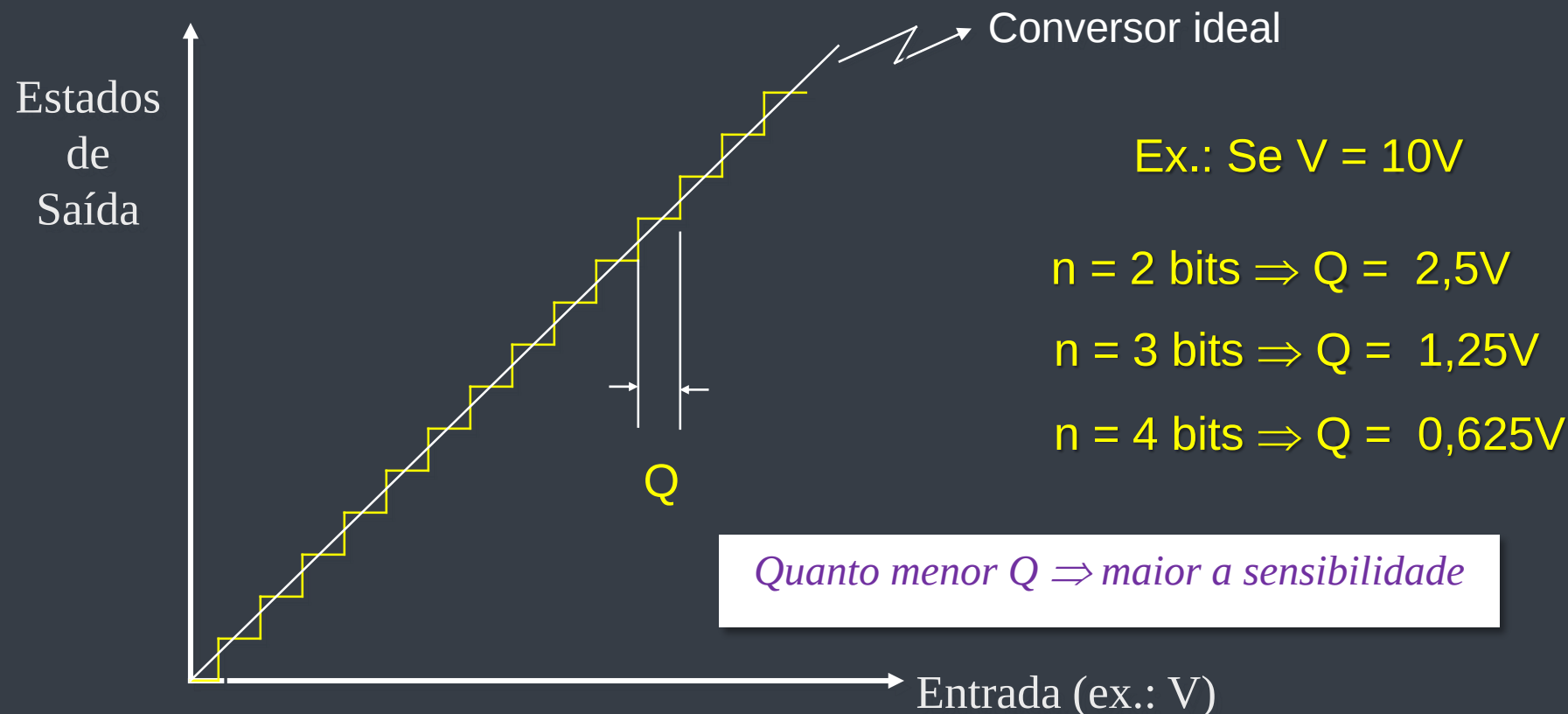
**Quantum:** tamanho da qti// analógica correspondente a um est. saída discreto:  $Q = V / 2^n$

$Q$  = menor diferença analógica sensível ao conversor

## 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

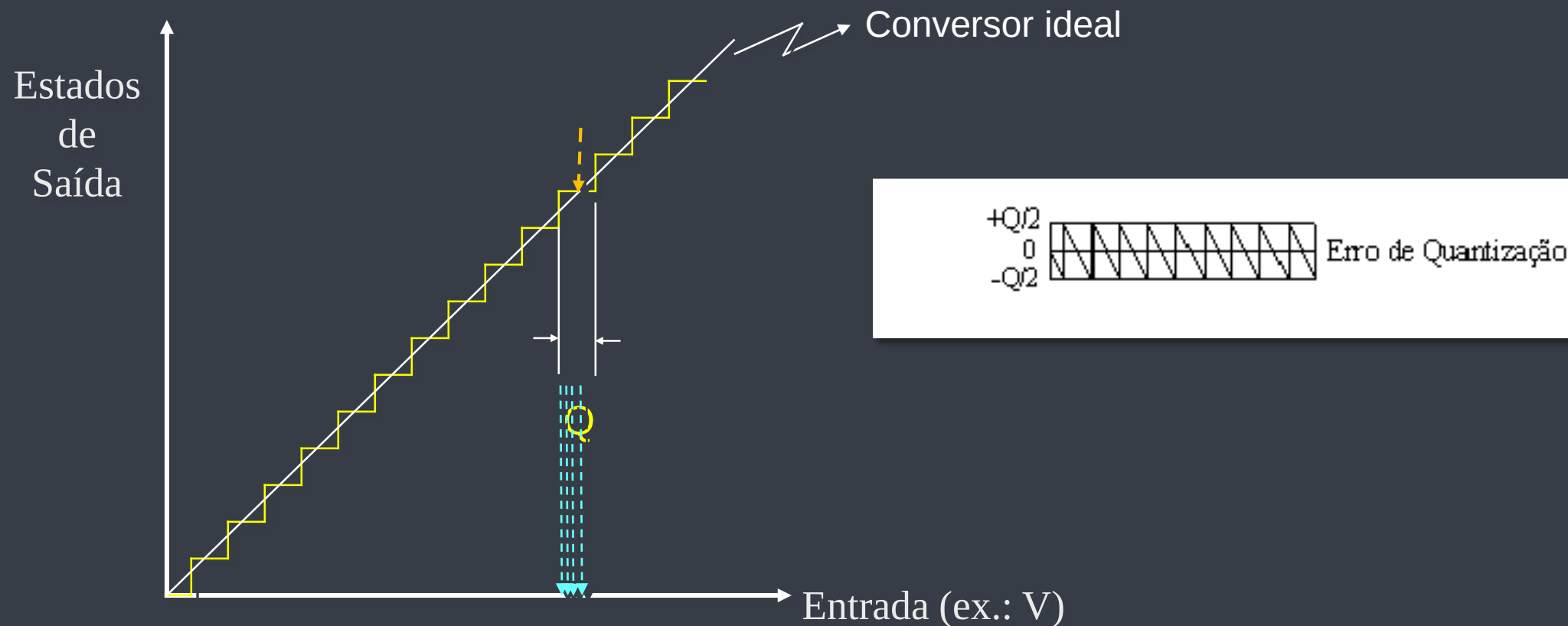
**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



## 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

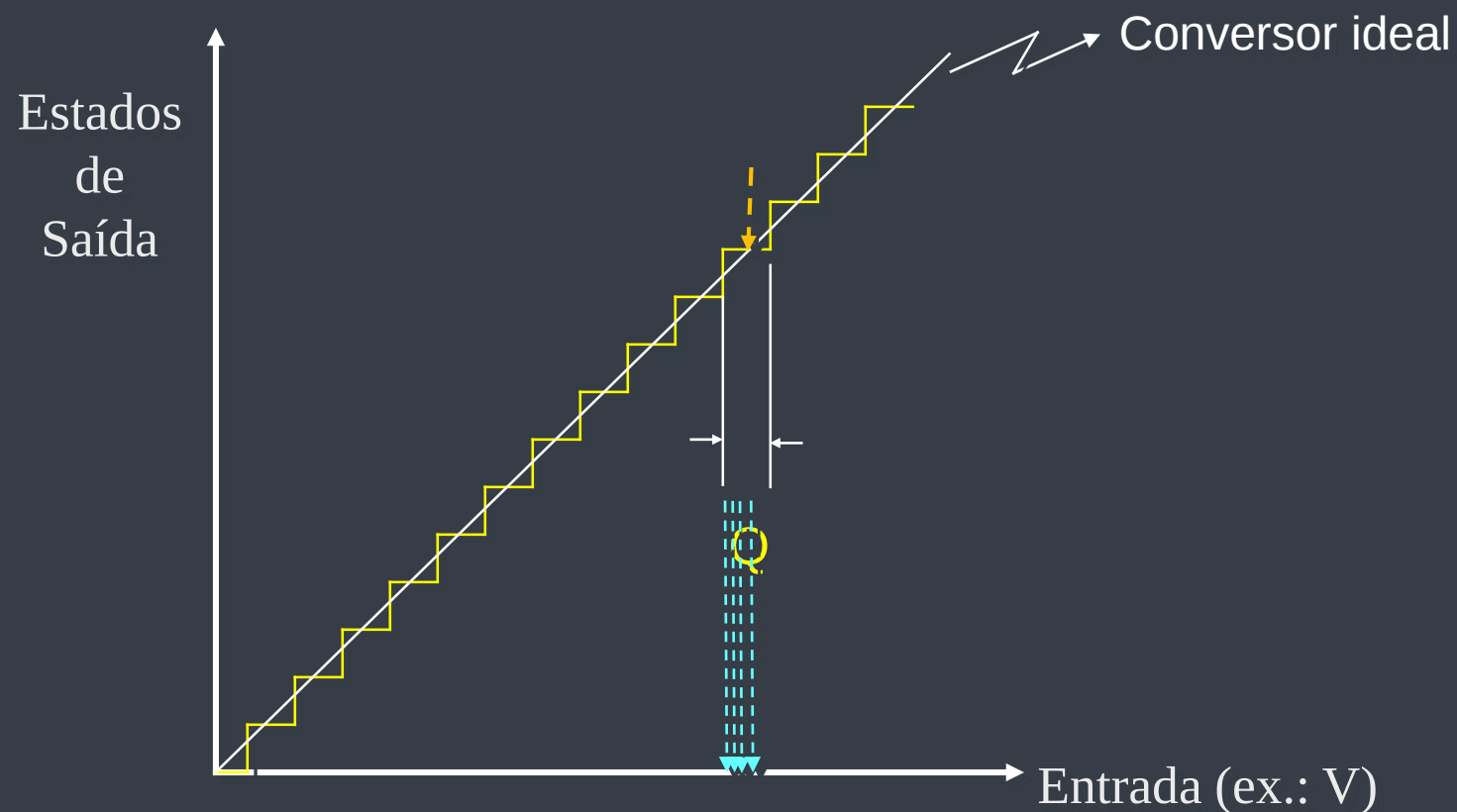
**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



## 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

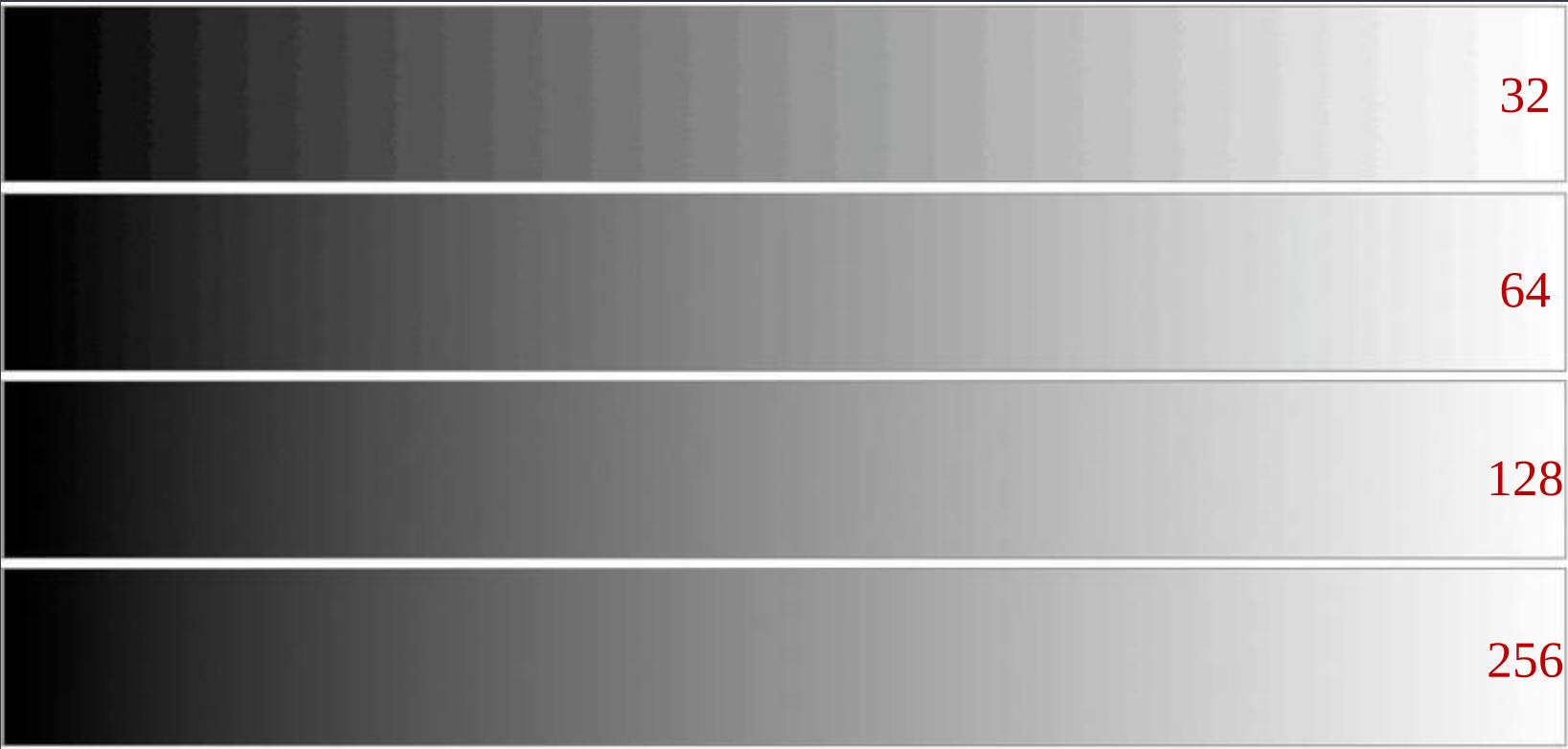
**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



# 2. TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

**Quantização** → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

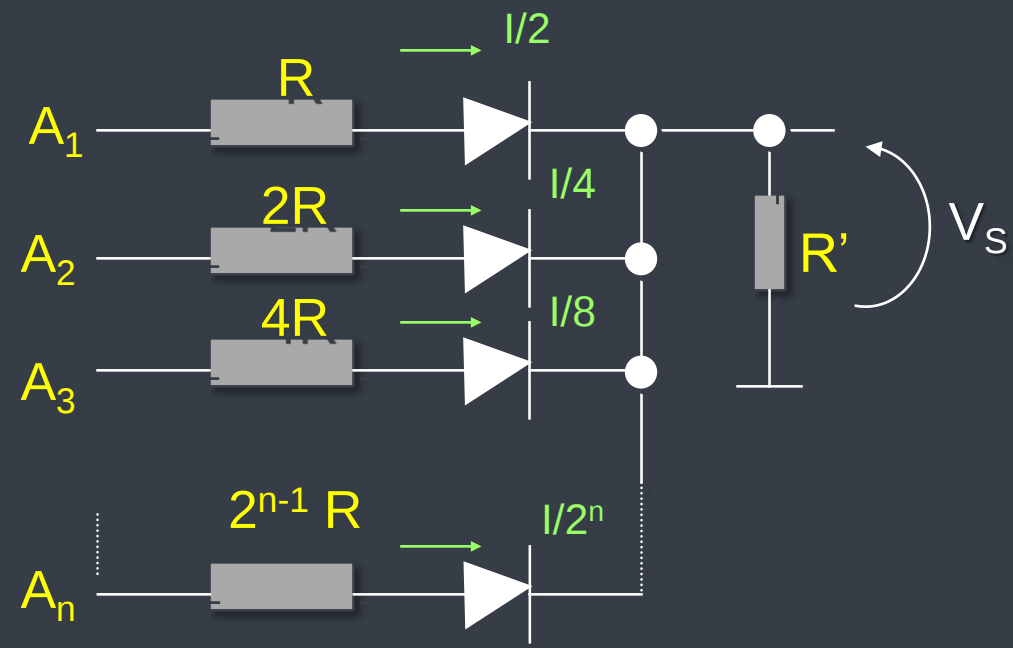
**Codificação** → associação de um código digital a cada um desses estados



# CONVERSOR DIGITAL- ANALÓGICO

### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

CIRCUITO BÁSICO (CONVERSOR POR REDE PROPORCIONAL):



$$V_S = R' \sum A_i (I / 2^i)$$

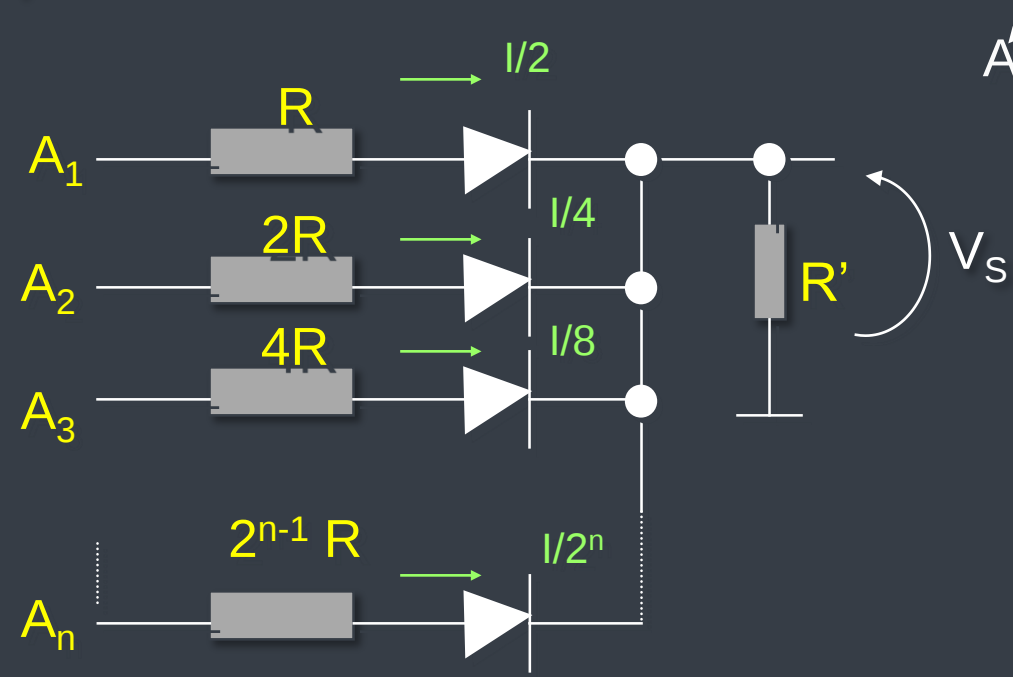
Generalizando:  $V_S = R' N I$

onde  $N = a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + \dots + a_n 2^{-n}$

### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

#### Operação – Exemplo

Suponhamos um CDA de 4 bits com entradas 0110 (= 6<sub>10</sub>)



Saída:  $V_S = R' (V_{CC} / R_{eq})$

Considerando  $R' \ll R$ :

$I_1 = I_4 = 0$   
 $I_2 = V_{CC} / 2R$   
 $I_3 = V_{CC} / 4R$

$I_T = 3/4 (V_{CC}/R)$

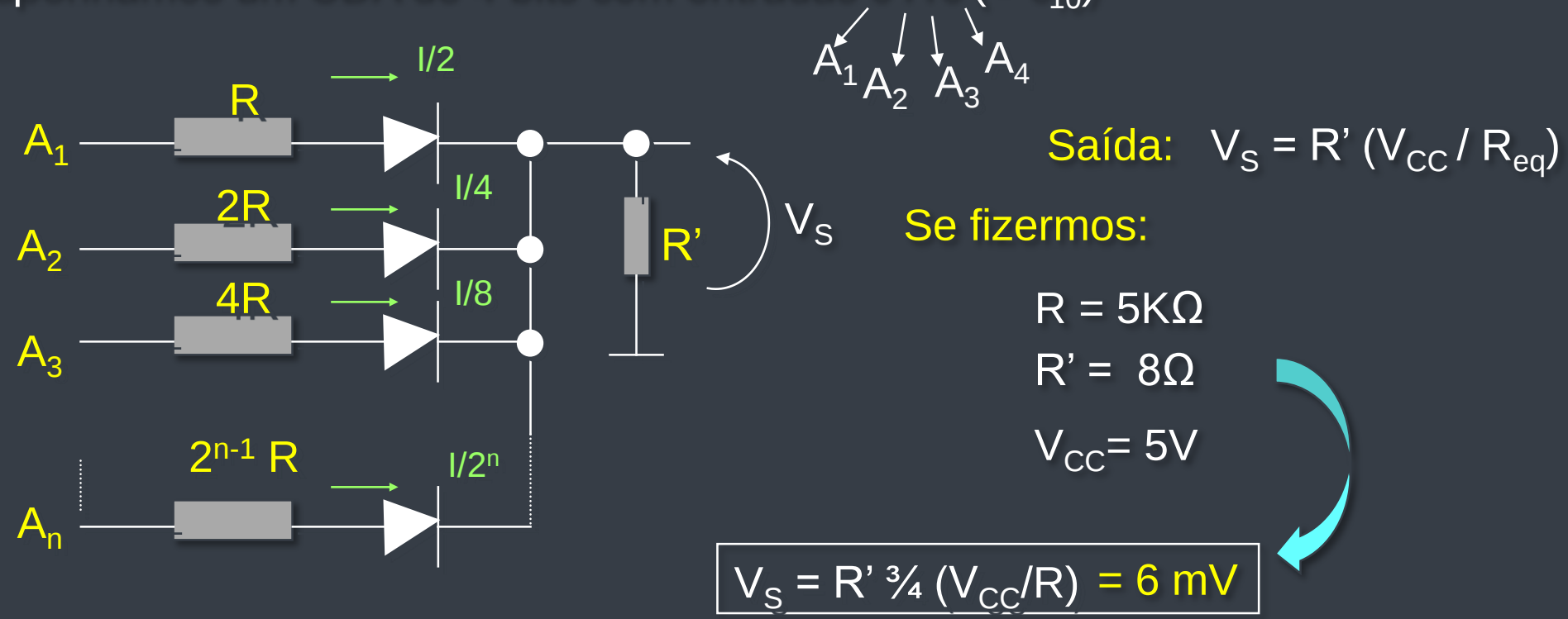
Então:

$V_S = R' 3/4 (V_{CC}/R)$

### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

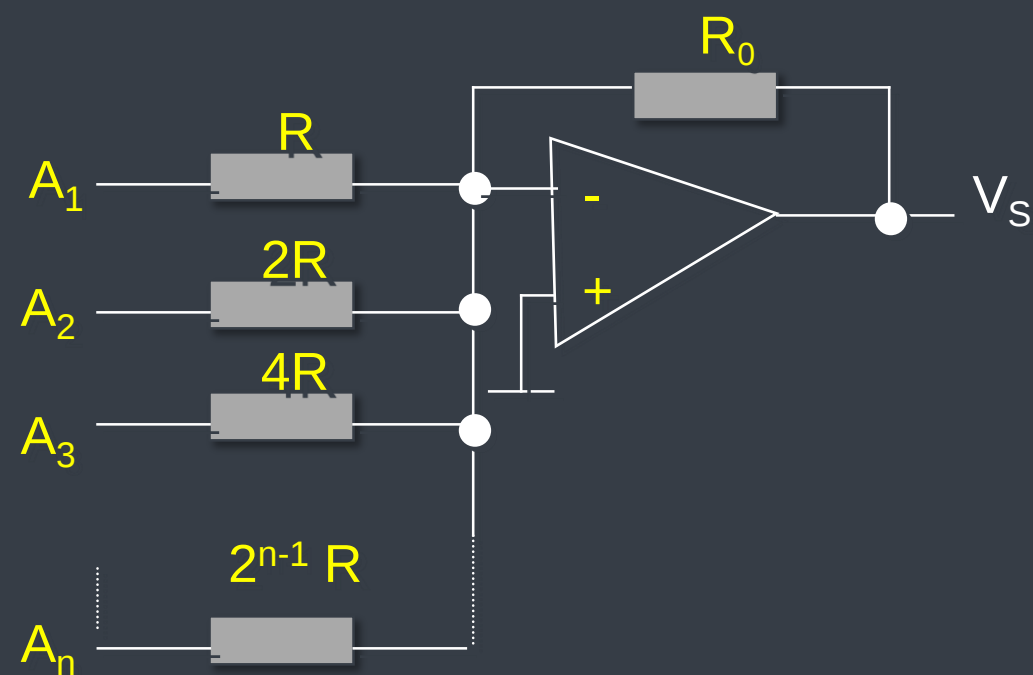
#### Operação – Exemplo

Suponhamos um CDA de 4 bits com entradas 0110 (= 6<sub>10</sub>)



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

#### MELHORAMENTO:

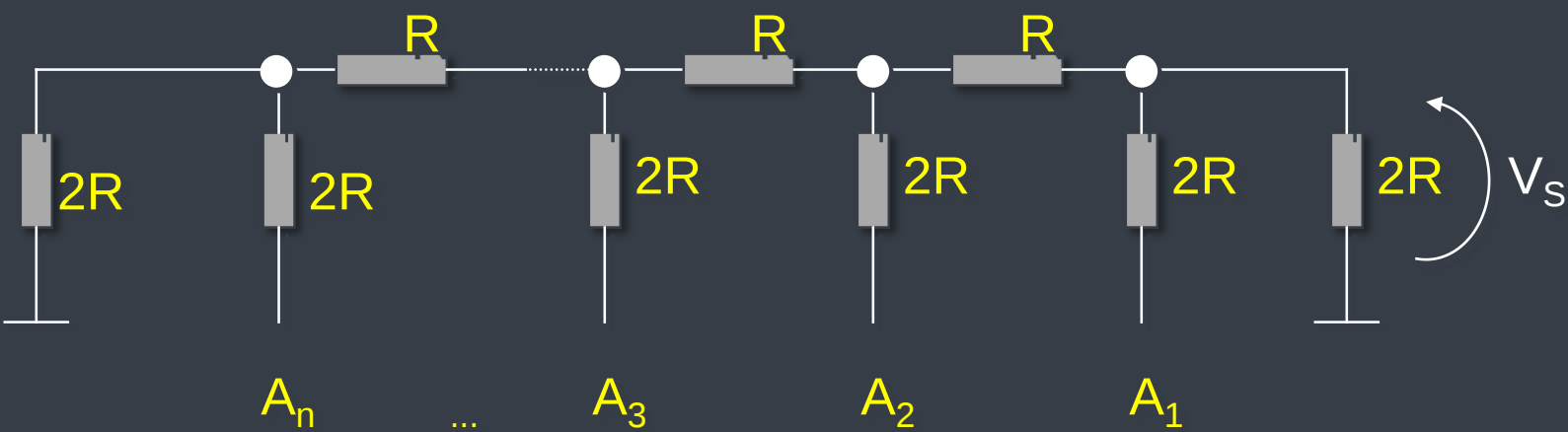


#### Desvantagens:

- ✓ Para muitos bits há necessidade de valores muito altos de  $R$  para o LSB;
- ✓ correntes muito reduzidas nos bits menos significativos (ruído);
- ✓ necessidade de grande precisão dos valores de componentes → riscos de não monotonicidade;
- ✓ velocidade de conversão limitada pela velocidade de comutação da chave (e, eventualmente, qualidade do amp. op.)

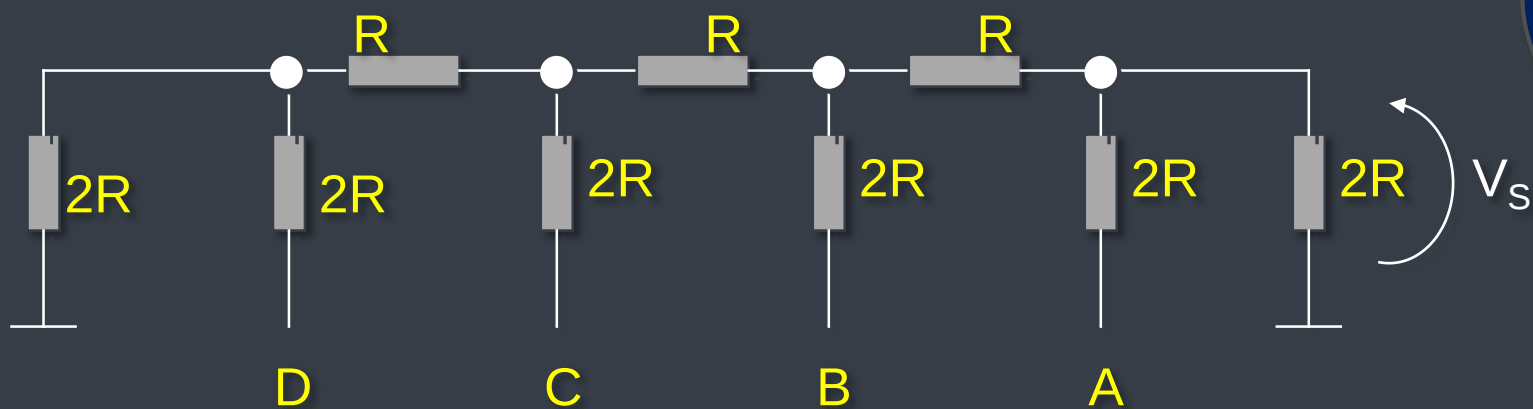
### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

CONVERSOR POR REDE  $R-2R$ :



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

Suponhamos um CDA R-2R de 4 bits:

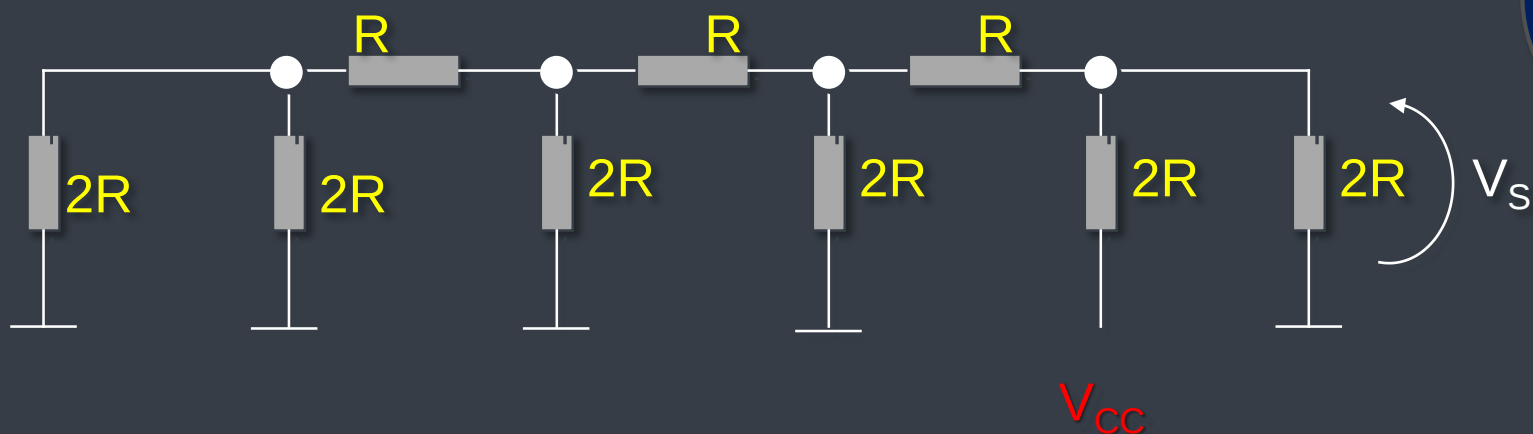


Como calcular  $V_s$ ?

- Supondo inicialmente que haja um bit 1 somente na entrada **A** ( $\Rightarrow$  MSB)

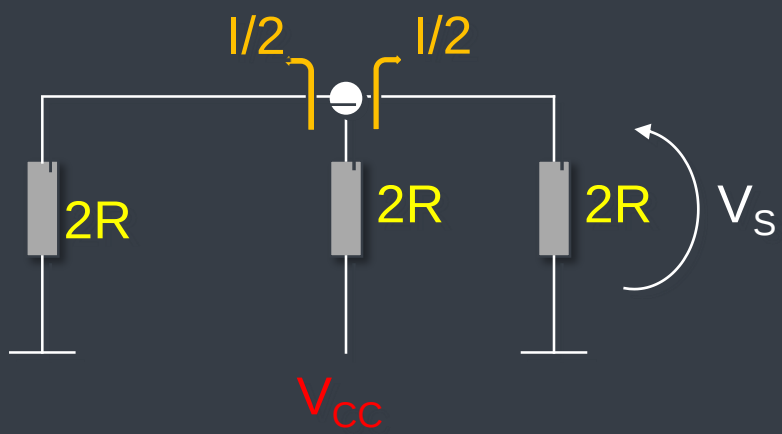
### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

Suponhamos um CDA R-2R de 4 bits:



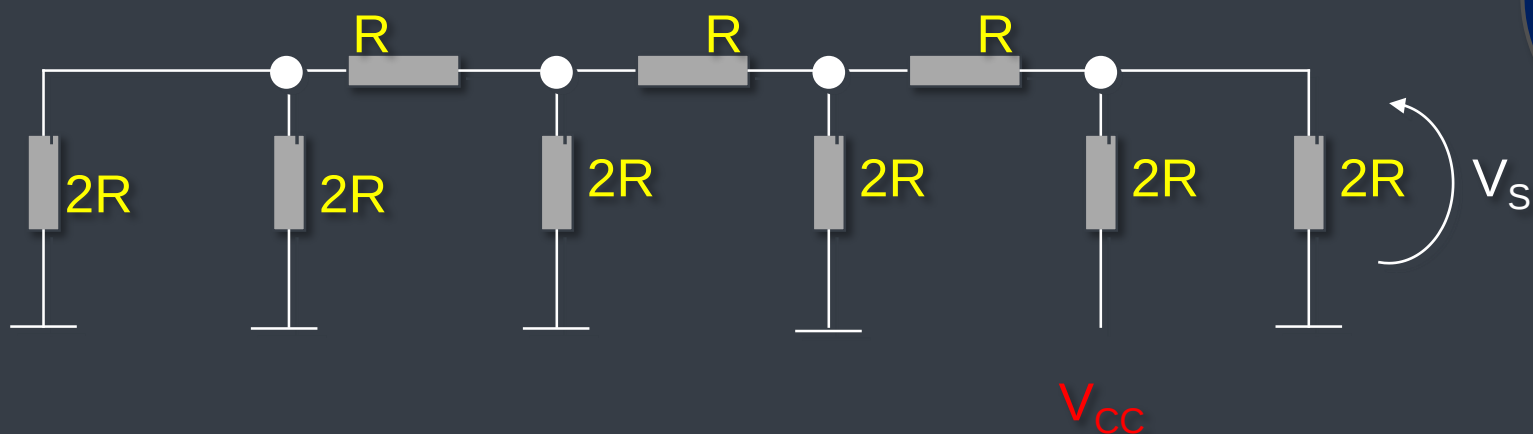
Como calcular  $V_S$ ?

➤ Circuito equivalente:



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

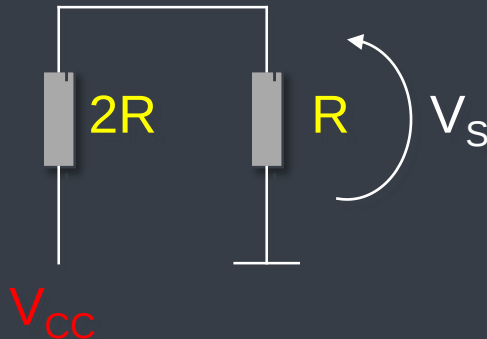
Suponhamos um CDA R-2R de 4 bits:



Como calcular  $V_s$ ?

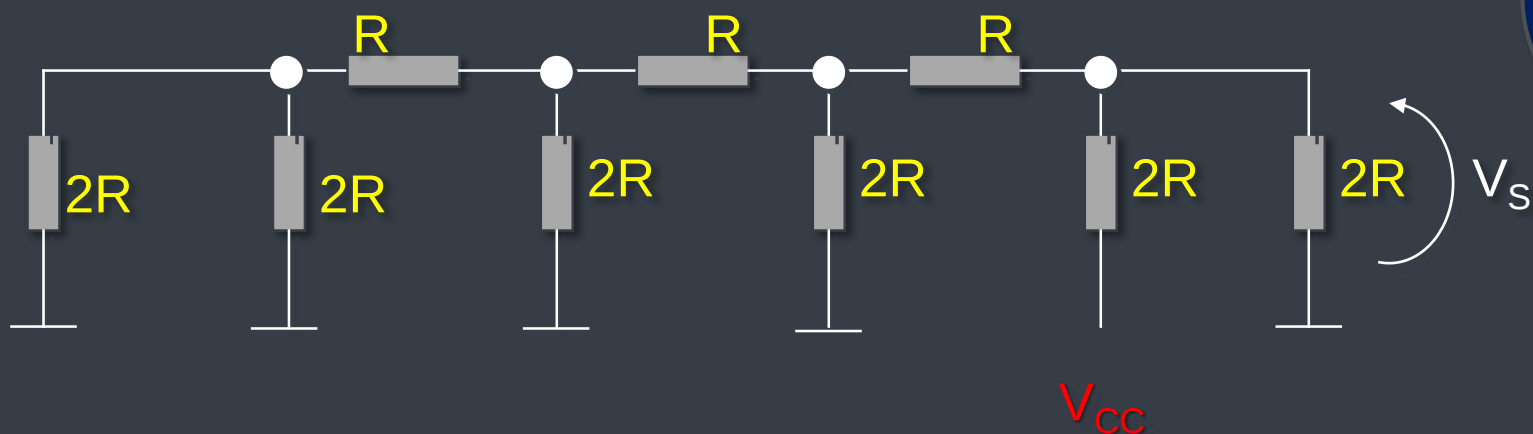
➤ Circuito equivalente final:

➡  $I_{TOT} = V_{CC} / 3R$



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

Suponhamos um CDA R-2R de 4 bits:

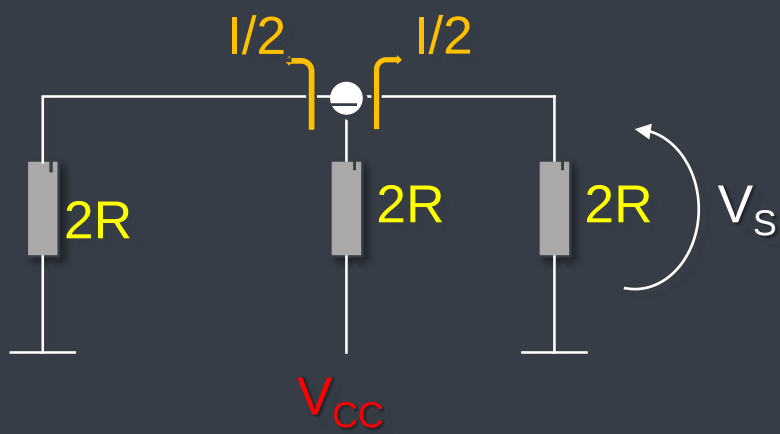


Como calcular  $V_S$ ?

➤ Circuito equivalente:

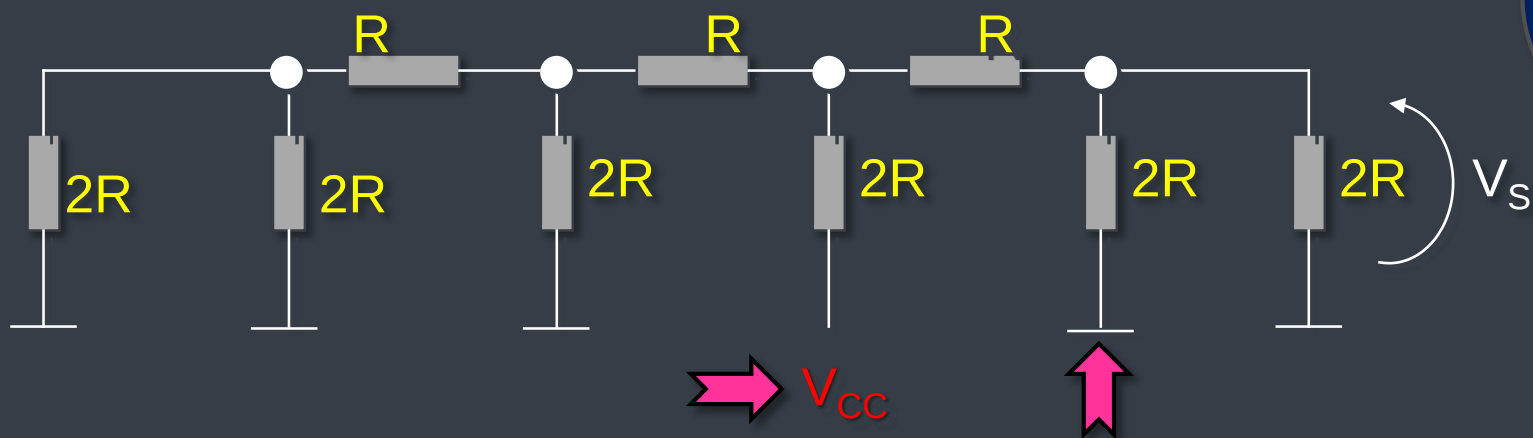
$$V_{S-A} = 2R \cdot \frac{1}{2} (V_{CC} / 3R)$$

➡  $V_{S-A} = (V_{CC} / 3)$



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

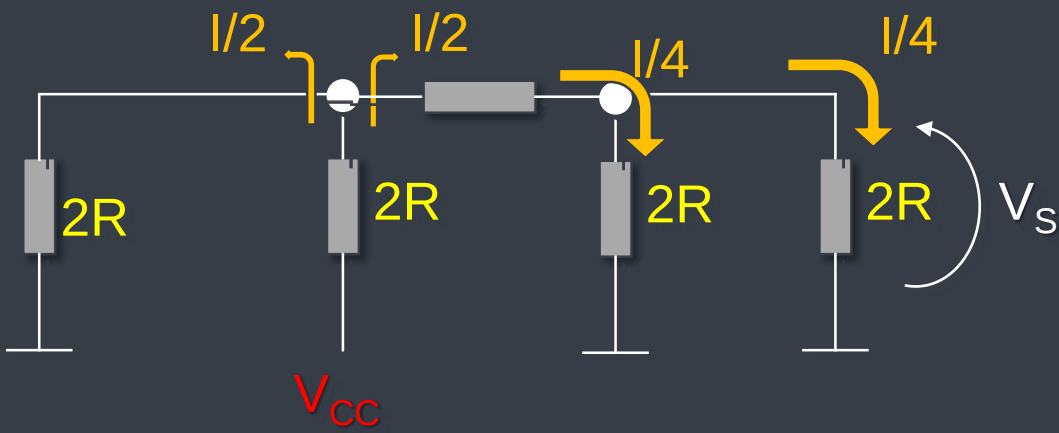
Suponhamos um CDA R-2R de 4 bits:



Como calcular  $V_S$ ?

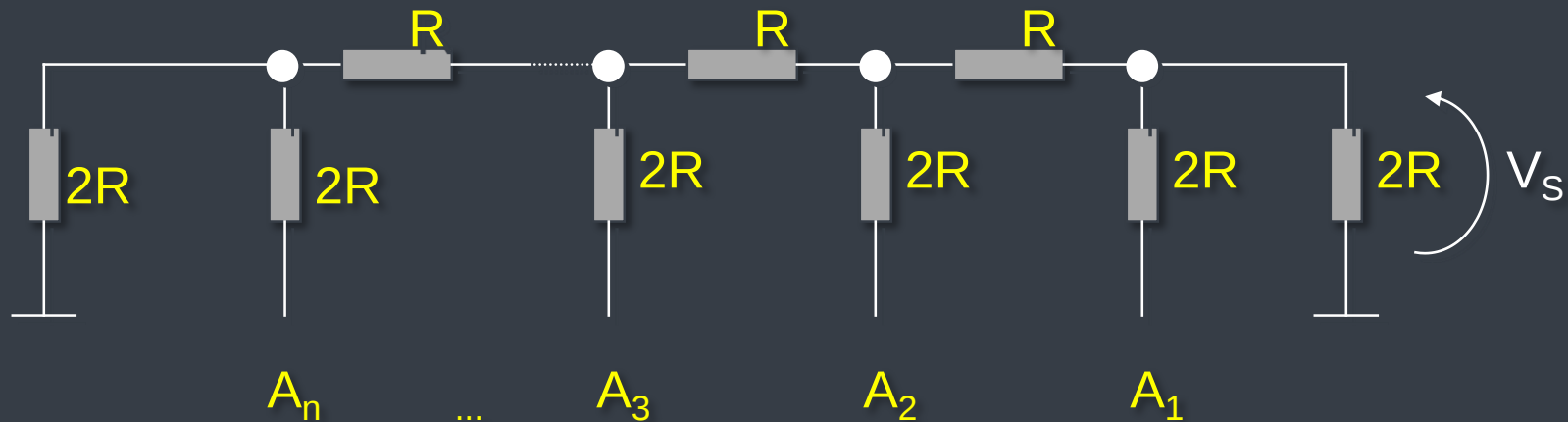
➤ Circuito equivalente:

$$V_{S-B} = 2R \cdot \frac{1}{4} (V_{CC} / 3R)$$
$$\Rightarrow V_{S-B} = (V_{CC} / 6)$$



### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

#### CONVERSOR POR REDE R-2R:



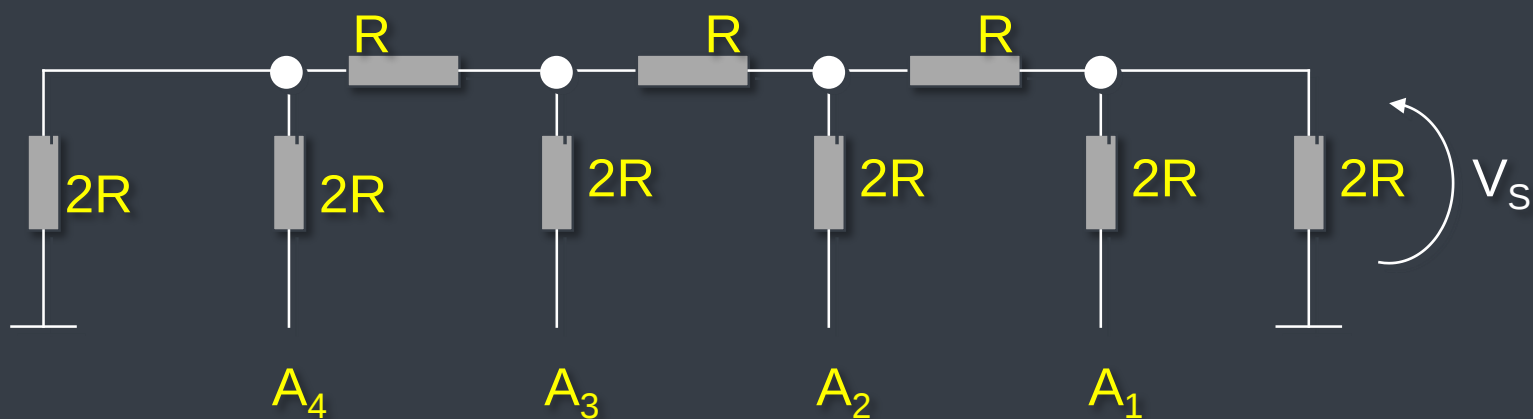
- $V_{S-A1} = V_{CC} / 3$
- $V_{S-A2} = V_{CC} / 6$
- $V_{S-A3} = V_{CC} / 12$
- $V_{S-A4} = V_{CC} / 24...$

Pelo Teorema da superposição:

Se mais de uma entrada receber nível lógico 1:  
 ➡  $V_S = \text{soma dos } V_S \text{ individuais}$

### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

CONVERSOR POR REDE R-2R:



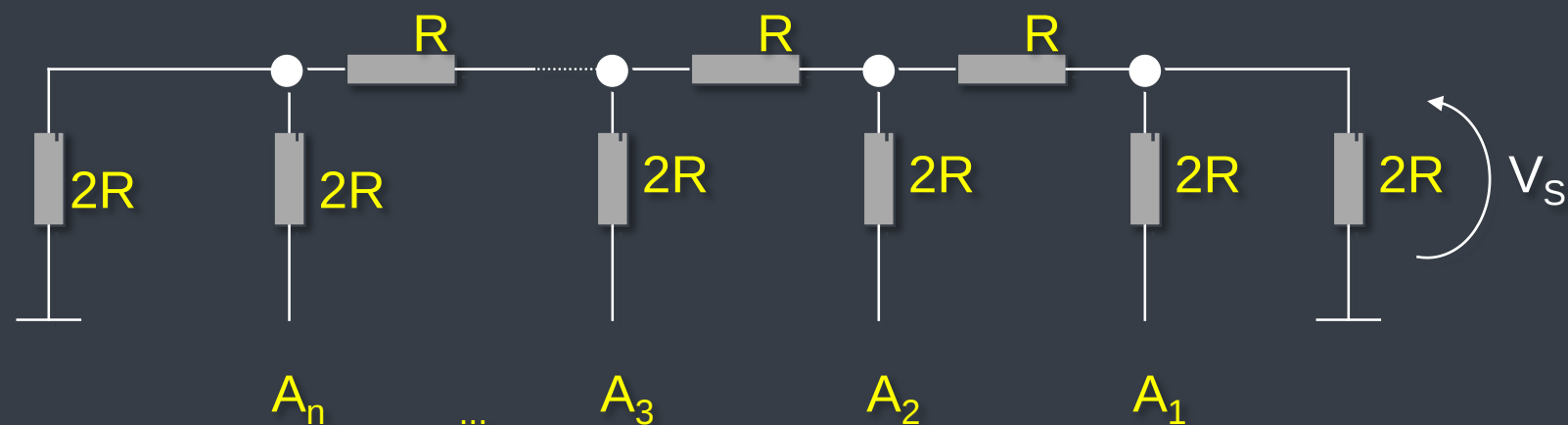
➤ Ex.: entrada = 1001

$$V_S = V_{S-A1} + V_{S-A4} = V_{CC}/3 + V_{CC}/24$$

$$V_S = 9 V_{CC}/24$$

### 3. Conversor Digital-Analógico (D/A)

#### CONVERSOR POR REDE R-2R:



- $V_{S-A1} = V_{CC} / 3$
- $V_{S-A2} = V_{CC} / 6$
- $V_{S-A3} = V_{CC} / 12$
- $V_{S-A4} = V_{CC} / 24...$

#### Vantagens:

- ✓ Elimina o problema da ampla variação de valores do CDA proporcional
- ✓ Mais facilidade para precisão dos componentes (só 2 valores - R e 2R)

*CONVERSOR  
ANALÓGICO-DIGITAL  
(A SEGUIR)*