



Sistemas Digitais

Conversão Analógico-Digital

Elementos de Eletrônica Digital ó Idoeta e Capuano

Eletrônica Digital ó Bignell e Donovan

Embedded System Design ó Vahid e Givargis

Sistemas Digitais ó Tocci e Widmer

Adaptações de José Artur Quilici-Gonzalez



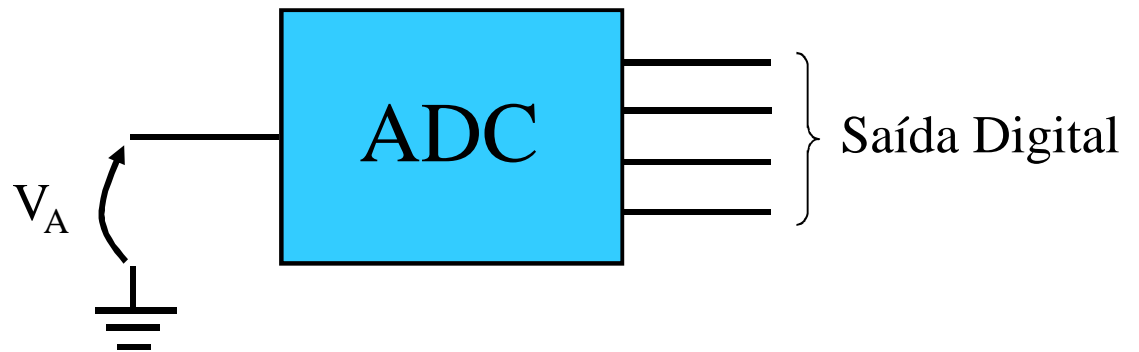
Sumário

- Introdução
- Conversão Analógico-Digital (ADC)
- ADC de Rampa Digital ou com Contador
- ADC de Aproximações Sucessivas
- Conversão Flash

Introdução

Um **Conversor Analógico-Digital (ADC)** produz um **Número Binário** que é **diretamente proporcional à Tensão Analógica de Entrada**

A conversão Analógico-Digital é geralmente mais complexa e consome mais tempo do que a conversão Digital-Analógica

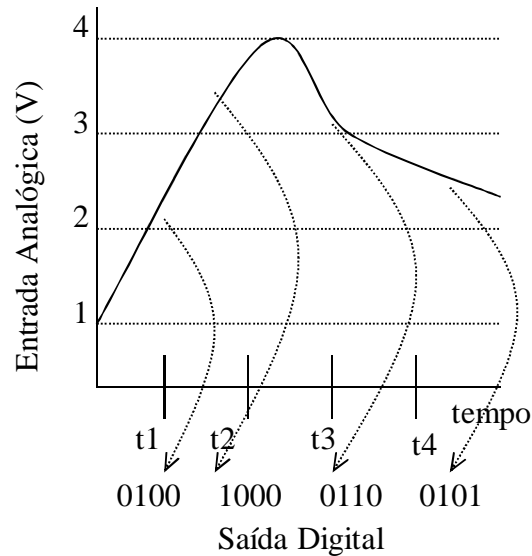


Conversão Analógico-Digital e DAC

Considere um sinal de entrada analógico, cujo valores vão de 0 a 7,5V e que devem ser codificados em 4 bits

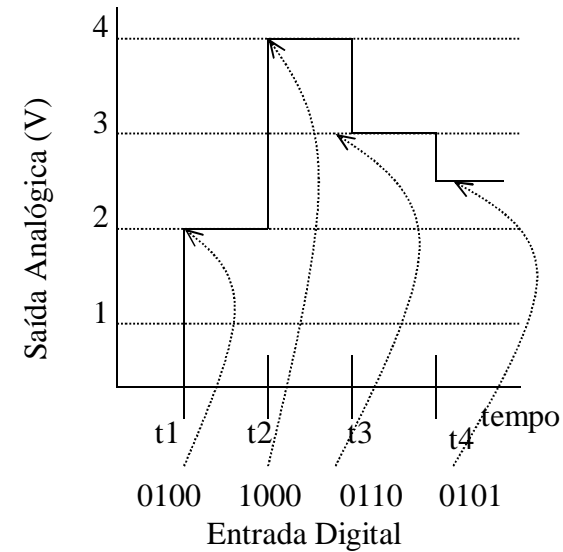
$V_{max} = 7.5V$	1111
7.0V	1110
6.5V	1101
6.0V	1100
5.5V	1011
5.0V	1010
4.5V	1001
4.0V	1000
3.5V	0111
3.0V	0110
2.5V	0101
2.0V	0100
1.5V	0011
1.0V	0010
0.5V	0001
0V	0000

Proporcionalidade



A entrada analógica neste intervalo variou de 1 a 4V

ADC



A saída analógica de um DAC é pseudo-analógica

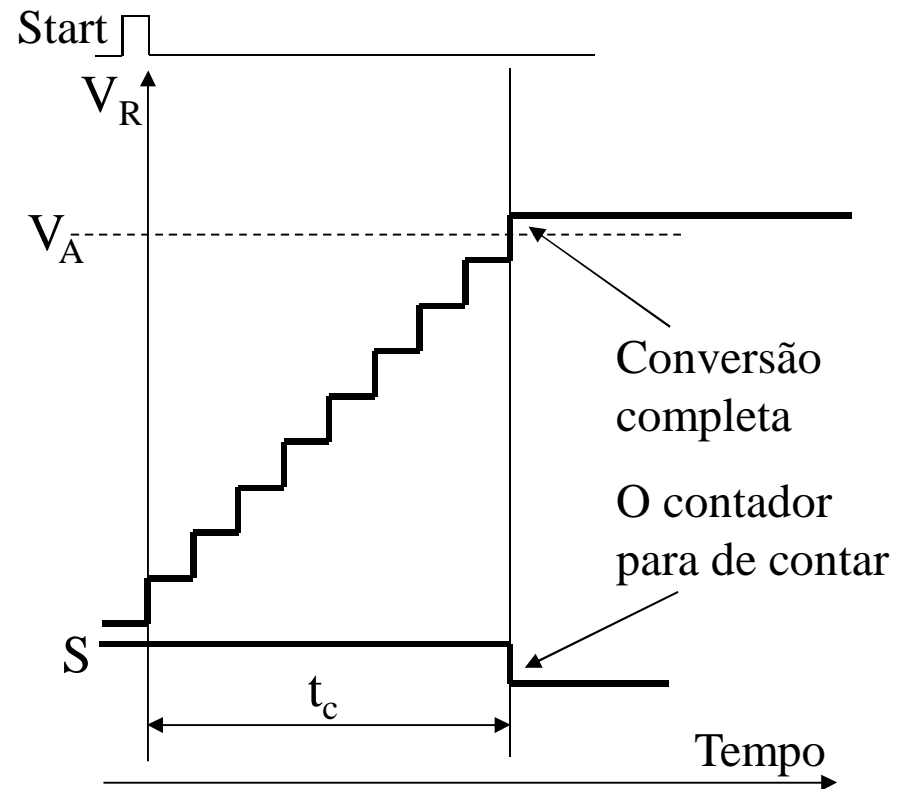
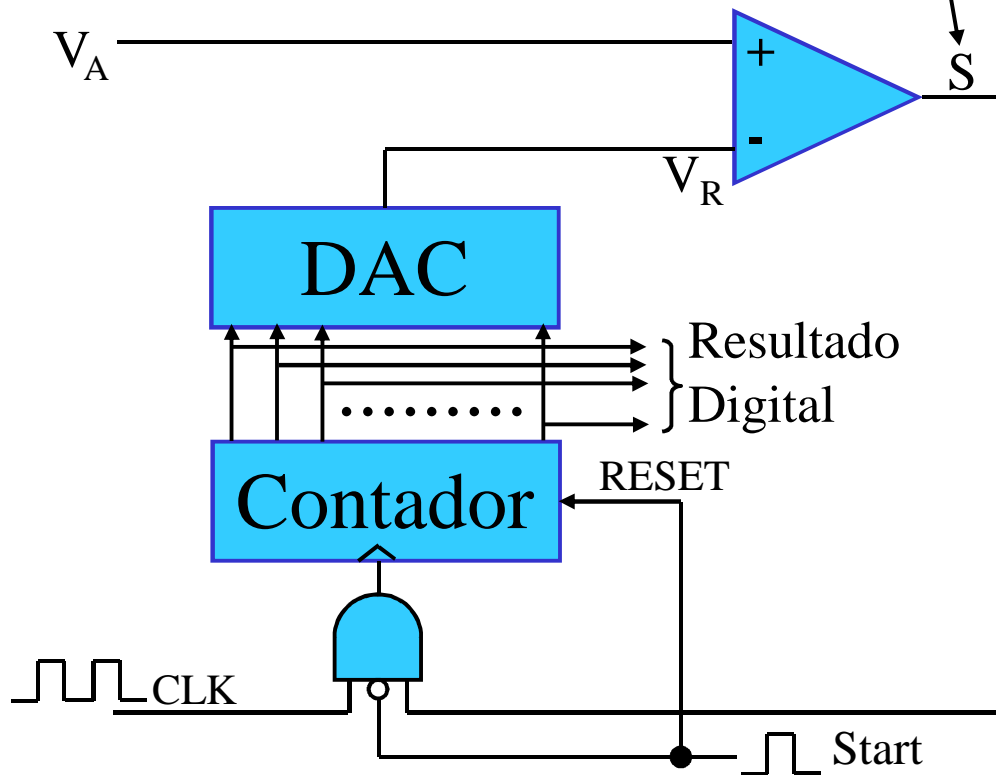
DAC

ADC de Rampa Digital ou com Contador

$$V_R < V_A \Rightarrow S = 1$$

$$V_R > V_A \Rightarrow S = 0$$

Na realidade, a saída do comparador vai para o nível BAIXO apenas quando a tensão de referência V_R ultrapassa a tensão analógica V_A em pelo menos uma quantidade igual a V_T (tensão de limiar ou *threshold*)



Funcionamento do ADC de Rampa Digital

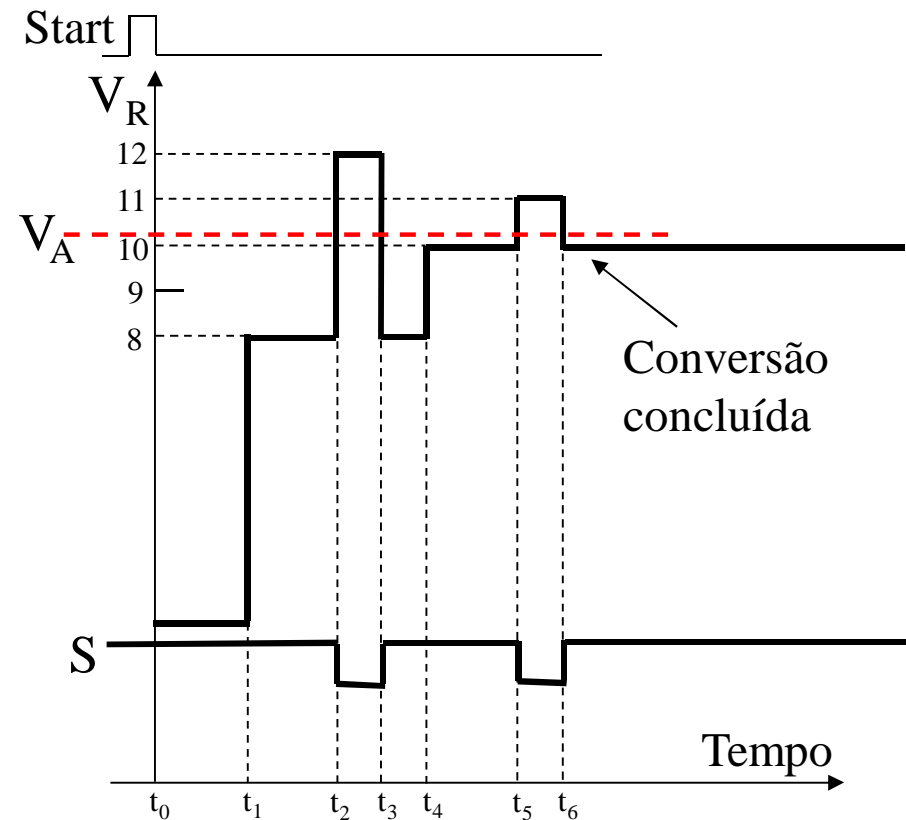
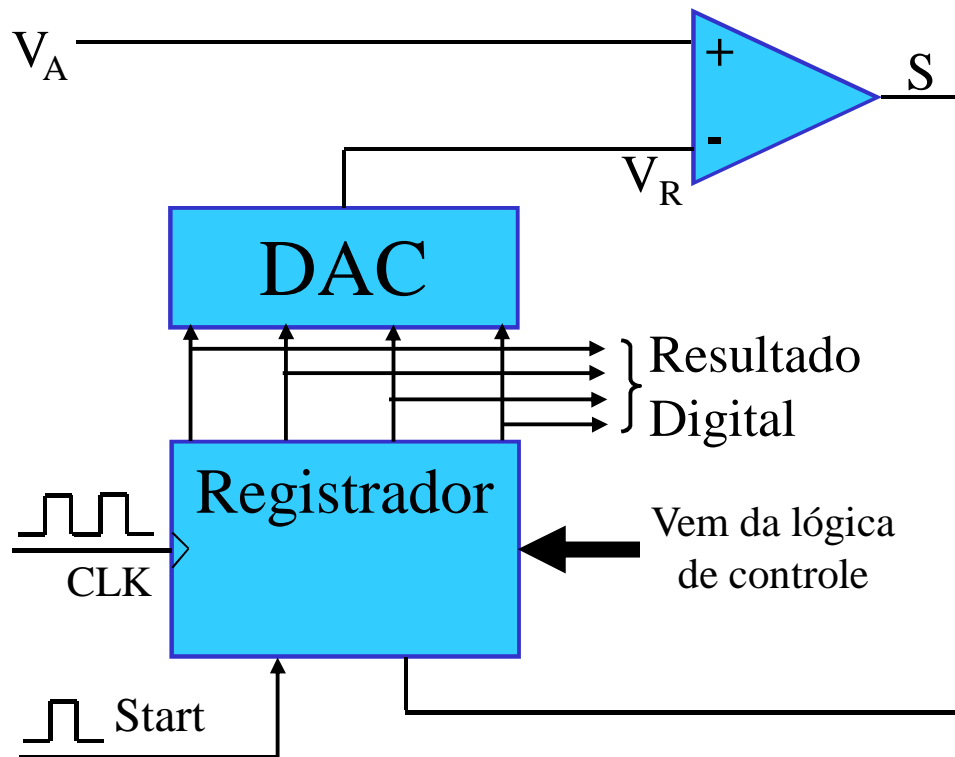
- ✓ Um pulso START é aplicado para levar o contador para 0 e inibir os pulsos de *clock* de passarem pela porta AND
- ✓ Com $V_R = 0V$, a condição $V_A > V_R$ é satisfeita e a saída S do comparador vai para o nível ALTO, permitindo que os pulsos sejam aplicados no contador e a contagem seja iniciada
- ✓ Conforme o contador avança, a saída do DAC, V_R , aumenta um degrau de cada vez
- ✓ Isso continua até que V_R alcance um degrau que exceda V_A por uma quantidade igual ou maior do que V_T (normalmente de 10 a 100 mV). Nesse ponto, S irá para o nível BAIXO e inibirá a passagem dos pulsos para o contador, parando a contagem
- ✓ O processo de conversão agora está completo e o conteúdo do contador é a representação digital de V_A

Aproximação Sucessiva ou Busca Binária

- ✓ Para encontrar um **item** numa **lista ordenada** é possível usar uma **busca sequencial**, começando pelo 0, depois 1, 2 e assim por diante
- ✓ Embora este procedimento seja simples, na pior das hipóteses serão necessárias **2ⁿ comparações** para encontrar o item desejado
- ✓ Uma solução mais rápida usa a **busca binária**, que começa com um **valor intermediário** correspondente à metade do valor máximo
- ✓ Este valor intermediário é comparado com o valor do item desejado e se o item desejado for maior que o valor intermediário, então um novo valor de comparação é escolhido entre o valor intermediário inicial e o valor máximo
- ✓ Este processo continua sempre dividindo a **faixa de busca restante** pela metade até que o item procurado seja encontrado

ADC de Aproximações Sucessivas

Para um conversor de 4 bits e uma tensão de entrada $V_A = 10,4 \text{ V}$, a tensão de referência V_R assume sucessivamente os valores 1000 (8V), 1100 (12V), 1000 (8V), 1010 (10V), 1011 (11V) e 1010 (10V)

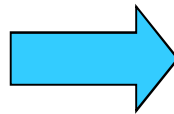


Exemplo de Aproximação Sucessiva

Dado um sinal de entrada, analógico, com variação entre 0 e 15V, e um codificador digital de 8 bits, calcule o valor binário correspondente para 5V

$$00000000_2 = 0V$$

$$11111111_2 = 15V$$



$$\text{Valor Digital} = 5 \cdot (2^n - 1) / 15$$

$$\text{Valor Digital} = 85$$

Método da Aproximação Sucessiva

$$\frac{1}{2}(V_{\max} + V_{\min}) = 7.5 \text{ volts}$$

$$V_{\max} = 7.5 \text{ volts.}$$

0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(5.63 + 4.69) = 5.16 \text{ volts}$$

$$V_{\max} = 5.16 \text{ volts.}$$

0	1	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(7.5 + 0) = 3.75 \text{ volts}$$

$$V_{\min} = 3.75 \text{ volts.}$$

0	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(5.16 + 4.69) = 4.93 \text{ volts}$$

$$V_{\min} = 4.93 \text{ volts.}$$

0	1	0	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(7.5 + 3.75) = 5.63 \text{ volts}$$

$$V_{\max} = 5.63 \text{ volts}$$

0	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(5.16 + 4.93) = 5.05 \text{ volts}$$

$$V_{\max} = 5.05 \text{ volts.}$$

0	1	0	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(5.63 + 3.75) = 4.69 \text{ volts}$$

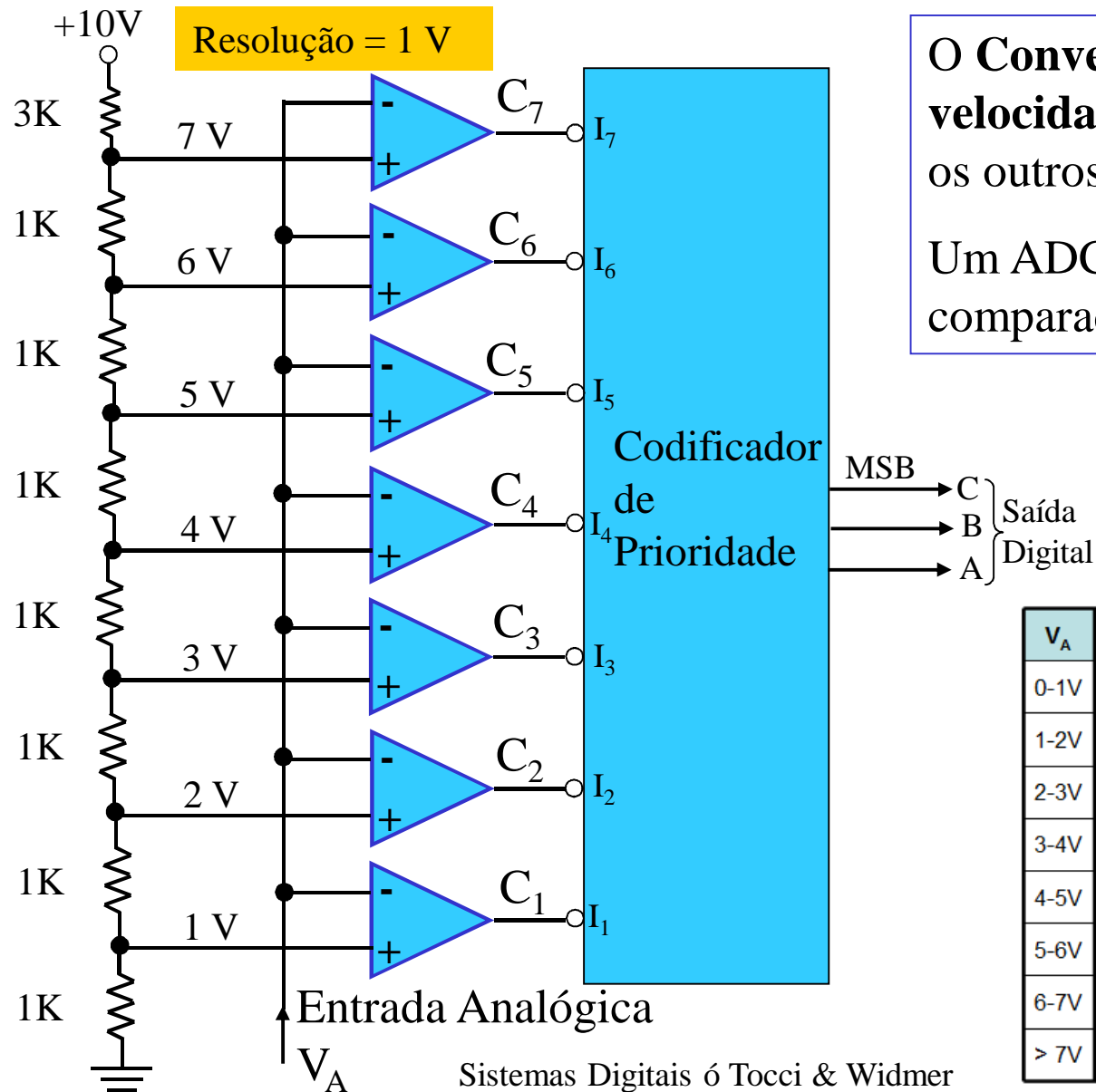
$$V_{\min} = 4.69 \text{ volts.}$$

0	1	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{1}{2}(5.05 + 4.93) = 4.99 \text{ volts}$$

0	1	0	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Conversor ADC Flash



O **Conversor Flash** é o ADC de **maior velocidade**, porém requer mais circuito que os outros tipos

Um ADC Flash de 8 bits requer 255 comparadores analógicos

V_A	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C	B	A
0-1V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
> 7V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Funcionamento do Conversor ADC Flash

- ✓ Com $V_A < 1V$, todas as saídas dos comparadores, C_1 a C_7 , estarão em nível ALTO
- ✓ Com $V_A > 1V$, uma ou mais saídas dos comparadores estarão em nível BAIXO
- ✓ O **Codificador de Prioridade** gera uma saída binária correspondente à saída do comparador de maior número dentre todos com nível BAIXO
- ✓ Por ex., quando V_A está entre 3 e 4V, as saídas C_1 , C_2 e C_3 estarão em nível BAIXO e todas as outras estarão em nível ALTO. O **Codificador de Prioridade** responderá apenas ao nível BAIXO em C_3 e produzirá uma saída binária $CBA = 011$

V_A	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C	B	A
0-1V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
> 7V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

- ✓ O **Conversor Flash** não usa sinal de *clock* e as conversões são realizadas continuamente
- ✓ O **tempo de conversão** depende apenas dos atrasos de propagação dos comparadores e da lógica de codificação
- ✓ O tempo de conversão do MC10319 da Motorola é menor do que 20 ns