

# ELF52 - Sistemas Microcontrolados

## Conversores D/A, A/D e Sensores

**Professor:**

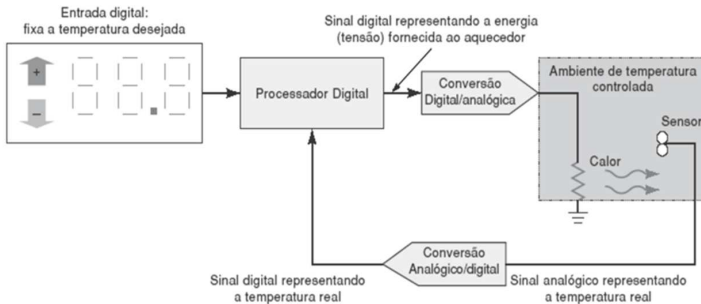
Prof. Marcos Eduardo

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

# Conversores

# Introdução

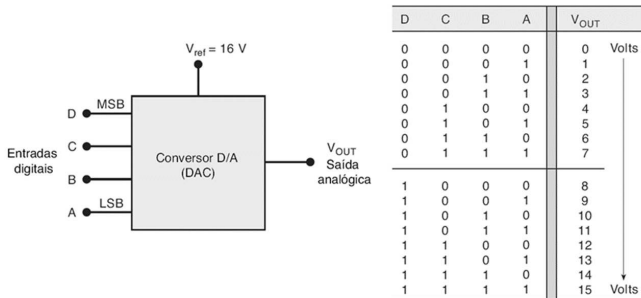
- Sistema Real



# Conversor D/A

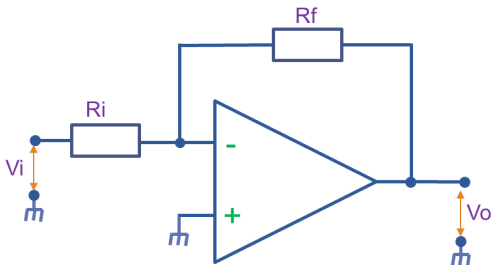
# Conversor D/A

- A saída de um DAC não é tecnicamente uma quantidade analógica, porque pode assumir apenas valores específicos:



# Conversor D/A

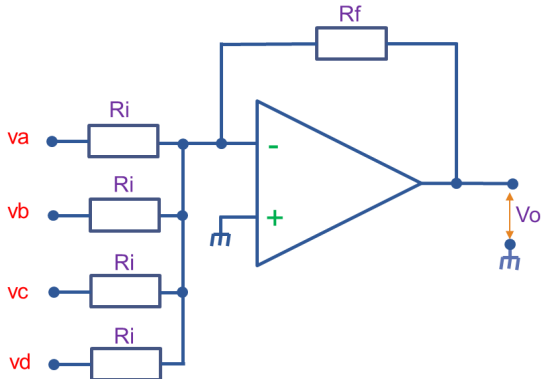
- Amplificador Inversor:



$$V_o = -V_i \times (R_f / R_i)$$

# Conversor D/A

- Circuito Somador



$$V_o = - (R_f / R_i) \times (v_a + v_b + v_c + v_d)$$

# Conversor D/A

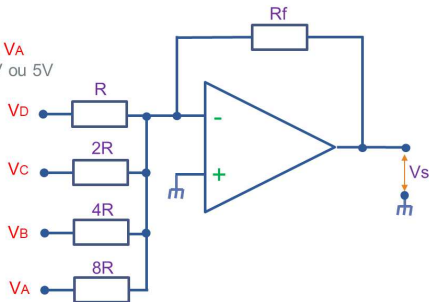
- Conversor D/A com Resistores Ponderados

Dados				Vs
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

Exemplo

$V_D, V_C, V_B, V_A$

"1"  $\rightarrow$  3,3V ou 5V

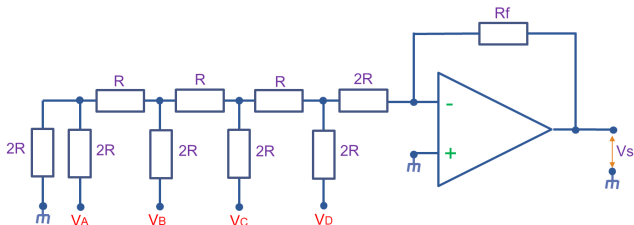


$$V_s = - (R_f / R_i) \times (V_D + V_C/2 + V_B/4 + V_A/8)$$



# Conversor D/A

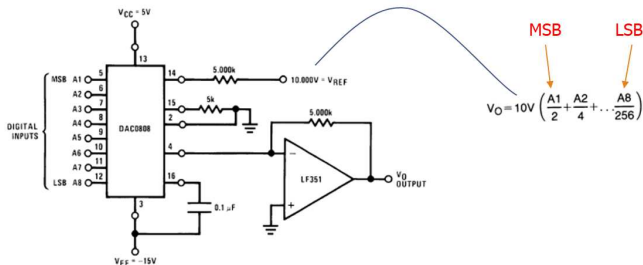
- Conversor D/A com Rede R/2R
  - Amplificador Inversor



$$V_S = - (R_f / 6R) \times (V_D + V_C/2 + V_B/4 + V_A/8)$$

# Conversor D/A

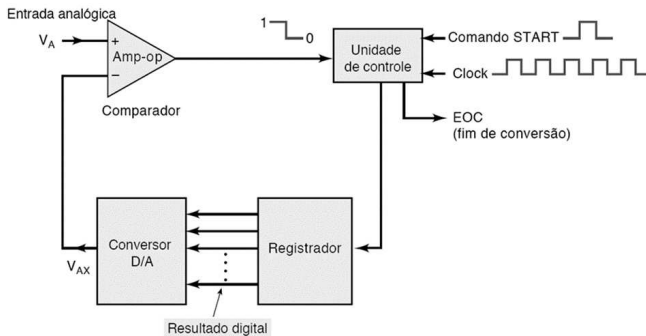
- Conversores Comerciais
  - Conversor D/A DAC0808
    - 8 bits de resolução, interface paralela
    - Tempo de acomodação: 150ns



# Conversor A/D

# Conversor A/D

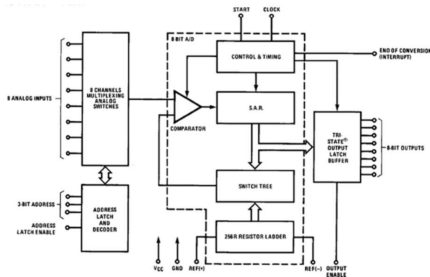
- Recebe uma tensão de entrada analógica e produz um código de saída digital que representa a entrada analógica.



# Conversor A/D

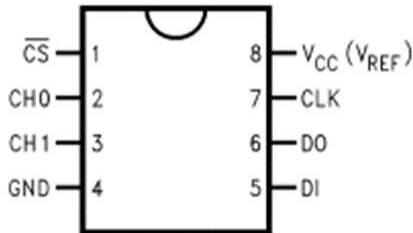
- ADC0808:
  - 8 bits, 8 canais mux,  $V_{in} = 0 - 5V$

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H



## Conversor A/D

- ADC0832:
  - Interface SPI



# Conversor A/D na Tiva

## Características

- Possui 20 canais compartilhados para a conversão A/D (Tabela 15-1):

Pin Name	Pin Number	Pin Mux / Pin Assignment	Pin Type	Buffer Type	Description
AIN0	12	PE3	I	Analog	Analog-to-digital converter input 0.
AIN1	13	PE2	I	Analog	Analog-to-digital converter input 1.
AIN2	14	PE1	I	Analog	Analog-to-digital converter input 2.
AIN3	15	PE0	I	Analog	Analog-to-digital converter input 3.
AIN4	128	PD7	I	Analog	Analog-to-digital converter input 4.
AIN5	127	PD6	I	Analog	Analog-to-digital converter input 5.
AIN6	126	PD5	I	Analog	Analog-to-digital converter input 6.
AIN7	125	PD4	I	Analog	Analog-to-digital converter input 7.

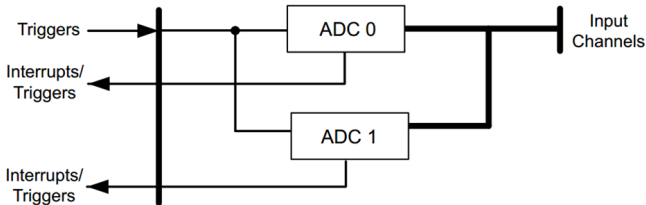
- Cada canal tem precisão de 12 bits;
- Resolução

$$Res = \frac{\Delta V}{2^N - 1} = \frac{3,3 - 0}{4096 - 1} = 805,86 \mu V$$



## Características

- Há dois módulos idênticos, cuja configuração muda de acordo com o prefixo (*base*) do endereço:
  - ADC0:  $0x4003.8000$ ;
  - ADC1:  $0x4003.9000$ .
- Cada um tem conversor AD, e ambos compartilham os 20 canais;
- Cada ADC pode amostrar independentemente qualquer um dos canais e gerar interrupções:



## Características

- Para cada ADC, há 4 sequenciadores de conversão das amostras (SS) com a possibilidade de 1 até 8 amostras:
  - SS0 → 8 amostras;
  - SS1 → 4 amostras;
  - SS2 → 2 amostras;
  - SS3 → 1 amostra.
- Portanto, é possível ativar 8 sequenciadores simultaneamente.

## Características

- Para cada ADC, há 4 sequenciadores de conversão das amostras (SS) com a possibilidade de 1 até 8 amostras:
  - SS0 → 8 amostras;
  - SS1 → 4 amostras;
  - SS2 → 2 amostras;
  - SS3 → 1 amostra.
- Portanto, é possível ativar 8 sequenciadores simultaneamente.

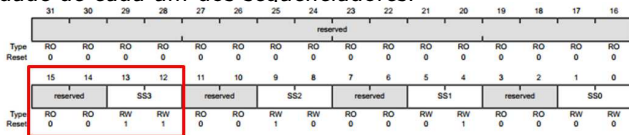


## *Analog-to-Digital Converter Run Mode Clock Gating Control (RCGCADC) e Peripheral Ready (PRADC)*

- Para ativar o ADC, o *clock* do respectivo ADC tem que ser ativado no registrador **RCGCADC**;
- Verificar o bit do ADC respectivo no registrador **PRADC** para saber se está pronto para o uso.

## ADC Sample Sequencer Priority (ADCSSPRI)

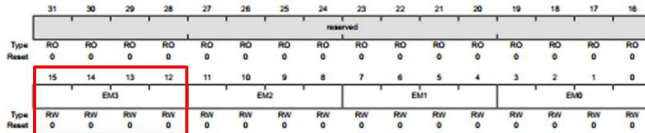
- O registrador **ADCSSPRI** contém as prioridades dos sequenciadores. Os dois bits inferiores de cada nibble guarda a prioridade de cada um dos sequenciadores:



- Cada sequenciador deve ter uma prioridade diferente do outro;
- Para aplicações simples: utilizar o SS3 como prioridade máxima (0).

# ADC Event Multiplexer Select (ADCEMUX) e ADC Processor Sample Sequence Initiate (ADCPSSI)

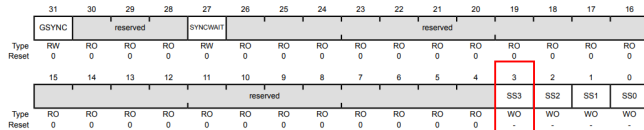
- O registrador **ADCEMUX** controla o gatilho (*trigger*) de cada um dos sequenciadores



- 0x00: O *trigger* é iniciado setando o bit **SSn** no registrador **ADCPSSI**;
- 0x01, 0x02, 0x03: Comparadores Analógicos;
- 0x04: Por GPIO;
- ...
- 0x0F: Sempre (amostragem contínua);

# ADC Processor Sample Sequence Initiate (ADCPSSI)

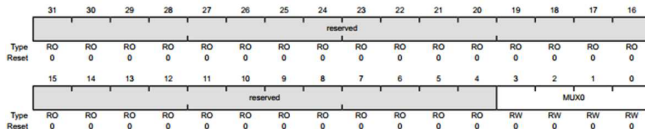
- O registrador **ADCPSSI** permite o software inicializar a amostragem nos sequenciadores.



- Os 4 primeiros bits ativam cada um dos sequenciadores;
- Exemplo: para iniciar a amostragem por SW no sequenciador SS3, escrever 0x08.

## ADC Sample Sequence Input Multiplexer Select (ADCSSMUX) e Extended Input Multiplexer Select (ADCSEMUX)

- O registrador **ADCSSMUX3** define qual das 20 entradas analógicas será utilizada para a conversão no sequenciador SS3:

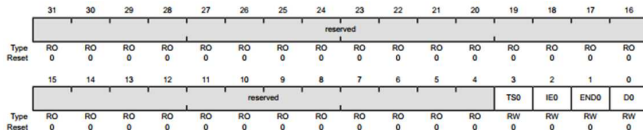


- Os bits de 0 a 3 definem qual AN será utilizado;
- Exemplo: se  $MUX[3:0] = 2$  a entrada analógica a ser utilizada será a AN2;
- Obs:** Para utilizar entre a AN16 e AN20 o flag no registrador ADCSSEMUX3 deve ser ativado.



# ADC Sample Sequence Control (ADCSSCTL)

- O registrador **ADCSSCTL3** contém configuração do sequenciador SS3:



- TS0**: habilita o sensor de temperatura durante a primeira (0) amostra;
  - IE0**: habilita o sinal de **interrupção** ser gerado para esta amostra (pode-se ter múltiplas interrupções por sequenciador);
  - END0**: habilitar se uma amostra é o fim da sequência. Como há apenas uma amostra no sequenciador 3, sempre habilitar;
  - D0**: se for entrada diferencial.
- Note que ele contém apenas uma amostra (0), por isso que os outros bits estão como reservados.

## ADC Raw Interrupt Status (ADCRIS)

- Quando a conversão estiver completa, o bit do respectivo sequenciador estará ativo no registrador **ADCRIS** se o bit **IE0** estiver ativado:

	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
	reserved															INROC
Type	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	reserved				DMAINR3	DMAINR2	DMAINR1	DMAINR0	reserved				INR3	INR2	INR1	INR0
Type	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- Os 4 primeiros bits mostram se a conversão em cada um dos sequenciadores está pronta;
- Exemplo: se o bit 3 estiver setado a conversão no sequenciador SS3 está pronta.

## ADC *Interrupt Status and Clear* (ADCISC) e *Interrupt Mask* (ADCIM)

- O registrador **ADCISC** contém os bits para limpar o *flag* de conversão realizada, que pode gerar interrupção ou não. Nele que se faz o ACK da conversão/interrupção de acordo com o sequenciador utilizado;
- O registrador **ADCIM** contém os bits para ligar a interrupção (se for utilizada);
- O registrador **ADCSSFIFOn** contém o resultado da amostragem do sequenciador  $n$ .
- Leituras sequenciais no **ADCSSFIFOn** resultam nos valores da amostra 0, 1, ..., até o limite de amostras do sequenciador.

# Passo-a-passo (GPIO)

- **Para configurar:**

- 1 Habilite o *clock* no módulo GPIO no registrador **RCGGPIO** (cada bit representa uma GPIO) e espere até que a respectiva GPIO esteja pronta para ser acessada no registrador **PRGPIO** (cada bit representa uma GPIO);
- 2 Habilite a funcionalidade analógica do Pino do GPIO no registrador **GPIOAMSEL**;

## Passo-a-passo (GPIO)

- 3 Escolha o pino do GPIO como entrada no registrador **GPIODIR**;
- 4 Habilite o bits de função alternativa no registrador **GPIOAFSEL** para o pino do GPIO;
- 5 **Desabilite** a função digital no pino do GPIO no registrador **GPIODEN**;

## Passo-a-passo (ADC)

- 6 Habilite o *clock* no módulo ADC no registrador **RCGCADC** (cada bit representa uma ADC) e espere até que a respectiva ADC esteja pronta para ser acessada no registrador **PRADC** (cada bit representa uma ADC). Escolha ADC0 ou ADC1;
- 7 Escolha a máxima taxa de amostragem (não altera/diminui a amostragem) no registrador **ADCPC**;
- 8 Configure a prioridade de cada um dos sequenciadores no **ADCSSPRI**. Se utilizar somente um dos sequenciadores (e.g. SS3), não é relevante. Entretanto, cada sequenciador deve ter prioridade diferente;

## Passo-a-passo (ADC)

- 9 Desabilite o sequenciador no registrador **ADCACTSS** para configurá-lo. Por exemplo, para desabilitar o SS3, escreva **0** no bit **ASEN3**;
- 10 Configure o tipo de gatilho para cada conversão analógica no registrador **ADCEMUX**. Por exemplo, se for utilizar gatilho por SW no SS3, escreva **0000** nos bits **EM3[3-0]**;
- 11 Para cada amostra na sequência de amostragem, configure a fonte de entrada analógica no registrador **ADCSSMUXn**. Por exemplo, se utilizar o canal AN0 (PE3) no SS3, escreva **0000** nos bits 3-0 do registrador **ADCSSMUX3**;

## Passo-a-passo (ADC)

- 12 Para cada amostra na sequência de amostragem, configure os bits de controle no *nibble* correspondente no registrador **ADCSSCTLn**. Sempre o último *nibble* deve ter o bit **END** setado. Por exemplo, para o SS3, que possui somente uma amostra, habilite **IE0** e **END0**, escreva **0110** no único *nibble* do **ADCSSCTL3**;
- 13 (Opcional) Se utilizar interrupções, sete o bit correspondente no registrador **ADCIM** para ligar a interrupção;
- 14 Habilite o sequenciador no registrador **ADCACTSS** para utilizá-lo. Por exemplo, para habilitar o SS3 escreva 1 no bit **ASEN3**.



## Passo-a-passo (conversão)

- Faça uma função separadamente da configuração que seja chamada a cada momento que a conversão seja requerida;
- Dentro da função, faça os seguintes passos:
  - 1 Inicie o gatilho de SW, no sequenciador no registrador **ADCPSSI**.  
Por exemplo, para ativar o SS3, escreva 0x0008;
  - 2 Faça *polling* do registrador **ADCRIS**, para esperar a conversão.  
Quando a conversão estiver pronta, o bit respectivo é setado;

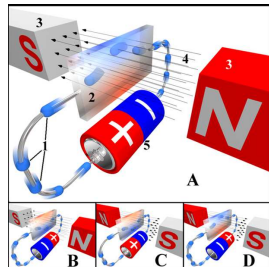
## Passo-a-passo (conversão)

- 3 Leia o resultado da conversão no registrador **ADCSSFIFOn**. Por exemplo, o SS3 só tem uma posição na FIFO, então leia somente uma vez o registrador **ADCSSFIFO3** e coloque em uma variável;
- 4 Realize o ACK no registrador **ADCISC** para limpar o bit de conversão no registrador **ADCRIS**;
- 5 Faça a função retornar o valor lido do ADC que foi colocado na variável.

# Sensores

# Sensor de Efeito Hall

- Capta a densidade de fluxo magnético ( $B$ );
- O efeito Hall ocorre quando um material condutor que contém um fluxo de elétrons (corrente) está sob influência de um campo magnético uniforme;
- Saída analógica ou digital (+ usual).



# Sensor de Efeito Hall

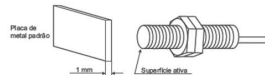
- Micropac MII 65025;
- Aplicações:
  - Sensor de velocidade;
  - Sensor de posição linear/angular;
  - Chaveamento.



# Sensores de Proximidade

- Sensores magnéticos:

- Exclusivamente materiais metálicos;
- Distância de comutação: 1 a 70 mm.



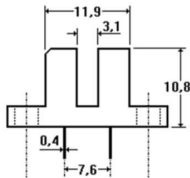
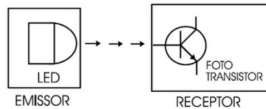
- Sensores capacitivos:

- Para materiais não-metálicos: madeira, papelão, vidro, plástico, granulados, pó mineral, cimento, líquidos em geral;
- Distância de comutação: 5 a 50 mm.



# Sensores Ópticos

- Sensor por barreira;
- Chave fotoeletrônica (Photonic PHCT104/204):



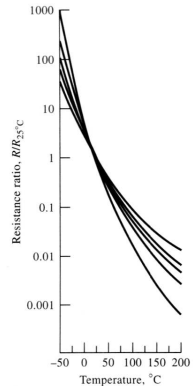
# Sensores de Temperatura

- Muitos tipos: termopares, termistores, semicondutores e radiação;
- A tecnologia depende do intervalo de medição;
- Exemplos:
  - Altas temperaturas: termopar, radiação;
  - Temperaturas medianas: termistor;
  - Baixas temperaturas: semicondutores.



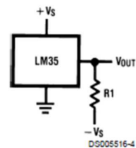
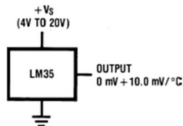
# Termistores

- Semicondutores feitos de materiais cerâmicos que se comportam como resistores térmicos com coeficientes de temperatura **negativos** (NTC) ou **positivos** (PTC):
  - Resistência a uma determinada temperatura;
  - Não lineares.



## Sensor de Temperatura LM35

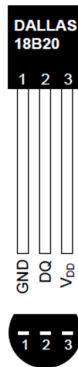
- Faixa de  $-55$  a  $150^{\circ}\text{C}$ ;
- Precisão:  $0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- Fator de escala:  $10,0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$



Choose  $R_1 = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\text{ mV at } +150^{\circ}\text{C}$   
 $= +250\text{ mV at } +25^{\circ}\text{C}$   
 $= -550\text{ mV at } -55^{\circ}\text{C}$

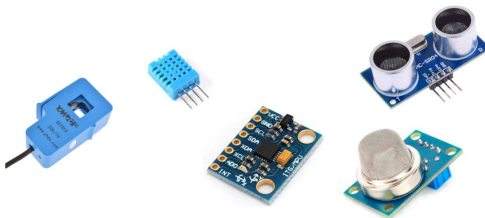
# Sensor de Temperatura DS18B20

- Interface 1-*wire*;
- ROM interna com código único de 64 bits;
- Faixa: -55 a 125°C;
- Resolução de 9 a 12 bits.



## Outros Sensores

- Sensor de distância ultrassônico (2cm..4m);
- Sensores para gases e inflamáveis;
- Acelerômetro/Giroscópio de 3 eixos MPU6050;
- Sensor de umidade e temperatura;
- Sensor de corrente.



# Dúvidas?