

## Prática L10 – Conversor A/D.

### Objetivos:

- Criar um *firmware* com foco na conversão de um sinal analógico em um valor digital.
- Simular o *firmware* no Proteus.
- Testar o firmware no kit didático XM118.
- Agrupar os arquivos gerados para envio pelo Moodle.

### Conversor Analógico-Digital

A maioria dos dados obtidos de sensores comuns, tais como sensores de temperatura, intensidade luminosa, posição, tensão, corrente e etc. fornecem sinais analógicos, ou seja, uma tensão que é proporcional à grandeza medida e que varia de forma contínua numa faixa de valores.

No entanto, a maioria dos equipamentos modernos que fazem a aquisição de dados destes sensores, trabalha com técnicas digitais. Isso significa que o nível analógico precisa ser convertido para a forma digital. Para fazer esta conversão são utilizados circuitos denominados conversores analógico-digital, ou simplesmente A/D. Como o próprio nome indica, este conversor realiza a conversão de sinais, cuja amplitude varia continuamente em sinais digitais correspondentes à amplitude do sinal original.

Para converter se faz o uso de um comparador de tensão ou corrente - variando de acordo com a aplicação - que irá comparar o sinal analógico com o valor de referência.

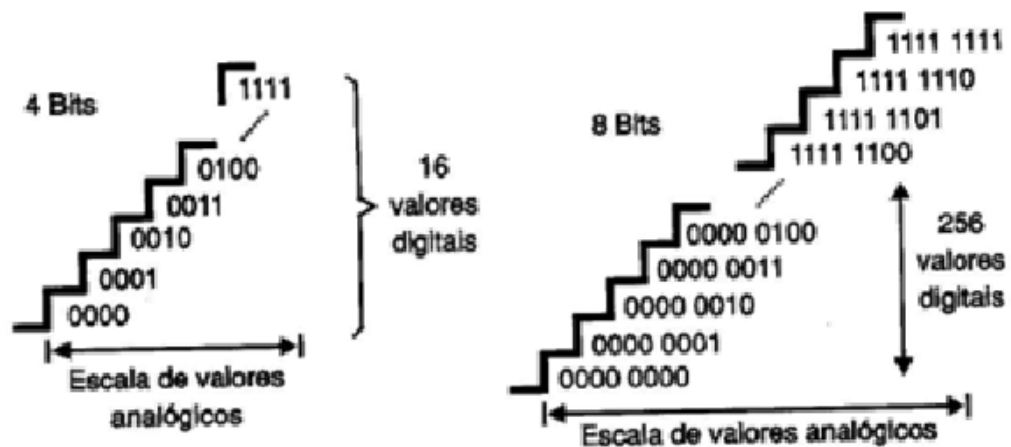
Desta forma os circuitos A/D devem preencher certos requisitos importantes quanto ao seu desempenho que são: Quantização e Taxa de Amostragem.

### Quantização

Entre os dois valores extremos da escala de valores analógicos que devem ser convertidos para a forma digital existem infinitos valores intermediários, o que justamente caracteriza uma grandeza que varia de forma análoga ou analógica. Entretanto, não podemos simplesmente representar o valor analógico através de bits, pois para infinitos valores deveríamos ter infinitos bits para representar todas as variações possíveis.

Para realizar a conversão de um sinal analógico para um valor digital deve ser definido o número de bits em que o valor será representado no universo digital e, a partir disso, definir em quantas faixas de valores digitais a faixa de valores analógicos será dividida.

Assim, por exemplo, se utilizarmos na conversão 4 bits, teremos a possibilidade de representar apenas 16 valores na escala total de valores analógicos e se usarmos 8 bits poderemos representar 256 valores, conforme indica a Figura 1.



**Figura 1:** Escala de conversão.

Se tivermos uma escala de 0 a 8 V, por exemplo, e usarmos 4 bits para a conversão, os “degraus” da escada de conversão terão 0,5 V de altura, o que significa que este conversor terá uma resolução de 0,5 V. Se usarmos um conversor A/D de 8 bits (256 “degraus” de resolução) para fazer um voltímetro de 0 a 10 V, por exemplo, a resolução deste voltímetro será de  $10/256$  ou pouco menos de 0,04 V.

Este comportamento digital pode ser observado em muitos instrumentos comuns, tais como os multímetros digitais que, se a grandeza medida estiver num valor intermediário entre dois degraus da resolução do conversor A/D, o valor apresentado no display oscilará entre eles. Evidentemente, tanto maior é a precisão na conversão quanto mais bits são utilizados pelo conversor.

Tipos com 8 a 16 bits são comuns nas aplicações industriais e em medidas, dependendo da quantidade de passos de quantização desejados na conversão. Em aplicações de alta fidelidade pode-se trabalhar com 24 bits ou mais bits.

### Taxa de Amostragem

Muitos processos de aquisição de dados de sensores, de processos ou de outras aplicações precisam ser rápidos. Uma placa de aquisição de dados de um instrumento de medida que projete uma forma de onda, desenhe um gráfico na tela de um PC representando um processo dinâmico ou mesmo um instrumento digital simples como um multímetro, deve estar constantemente convertendo sinais.

Um osciloscópio digital, por exemplo, deve medir as tensões instantâneas de um sinal em diversos pontos ao longo de um ciclo para poder “desenhar” esta forma de onda com precisão na tela. Se a frequência do sinal for alta, isso implica a necessidade de se fazer amostragens num tempo extremamente curto.

Os conversores A/D podem ser encontrados em tipos que têm frequências de amostragem numa ampla escala de valores. Os tipos mais rápidos têm suas velocidades especificadas em MSPS (Mega Samples Per Second ou Milhões Amostragens Por Segundo).

Uma máquina industrial ou um instrumento de uso geral como um multímetro pode usar conversores A/D relativamente lentos com taxas ou velocidades de amostragens de até algumas unidades por segundo. Um multímetro digital comum, por exemplo, faz apenas de 1 a 10 amostragens por segundo, dependendo do tipo. Todavia, um osciloscópio digital ou virtual que precise observar uma forma de onda de 10 MHz, deve, para ter uma definição razoável, realizar pelo menos 100 milhões de amostragens por segundo (10 pontos por ciclo).

O conceito de taxa de amostragem está ligado também ao Teorema da Amostragem, a determinação da frequência máxima na entrada de um conversor A/D e ao dimensionamento dos chamados filtros anti-aliasing. Contudo não entraremos em detalhes sobre esses assuntos, sendo essa discussão mais adequada para um curso de processamento de sinais.

## Usando o conversor ADC no microcontrolador

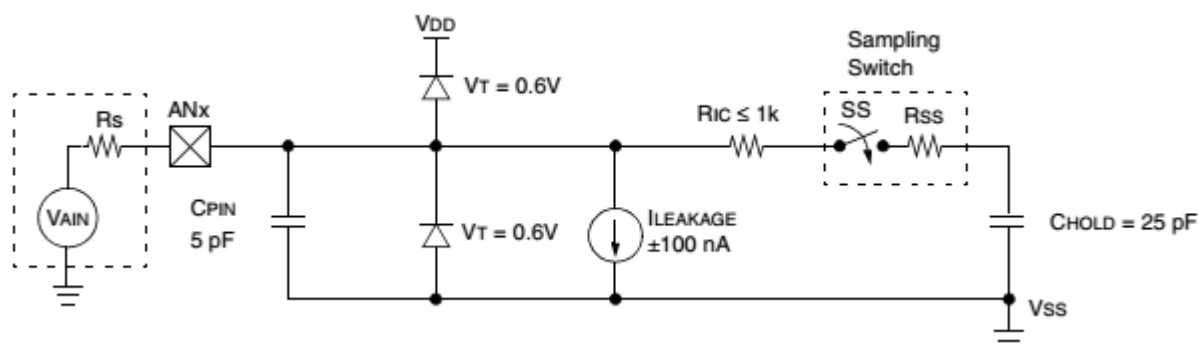
O ADC (*Analog-to-Digital Converter*) converte a tensão em palavras binárias. O PIC18F4550 possui um ADC de 10 bits com 13 canais. Isso significa que existem várias entradas para o conversor AD, porém somente uma entrada pode ser convertida por vez.

As tensões de referência para a conversão, tanto superior ( $V_{REF+}$ ) como inferior ( $V_{REF-}$ ), podem ser selecionadas em tempo de execução entre as tensões de alimentação e tensões presentes em determinados terminais do microcontrolador.

Esses valores de tensão estipulam a faixa de valores a ser convertida. Por exemplo, sendo  $V_{REF+} = 5V$  e  $V_{REF-} = 0V$  temos uma faixa de 5V, correspondendo o valor 0 a 0V e 1023 a 5V. Para determinar qual o valor correspondente dentro dessa faixa, basta aplicar uma simples regra de três.

O módulo ADC realiza todo o processo de “*Sample and Hold*” (Amostragem e Retenção). Esse processo é realizado quando uma determinada entrada é selecionada e inicia-se a carga de um capacitor interno  $C_{HOLD}$ . Após o tempo de carga do capacitor ( $T_{HOLD}$ ) a entrada é desconectada e inicia-se o processo de conversão da tensão armazenada no capacitor, que é feito pelo método de aproximações sucessivas.

A Figura 2 apresenta o diagrama funcional do ADC do PIC18F4550.



**Figura 2:** Diagrama funcional do ADC do PIC18F4550.

A resistência da fonte da tensão a ser convertida ( $R_S$  no circuito acima) não deve ser superior a  $2,5k\Omega$ , caso contrário o capacitor  $C_{HOLD}$  pode não ser completamente carregado quando se iniciar a conversão, resultando em uma medida incorreta. Além disso, o processo de conversão só poderá ser iniciado depois de decorrido o tempo de carga do capacitor ( $T_{HOLD}$ ).

O tempo total de amostragem, que vai do instante em que o canal a ser amostrado é selecionado ao momento em que o resultado da conversão é armazenado nos registradores de resultado do AD, é a soma do tempo de aquisição com o tempo de conversão. O tempo de aquisição varia em função da temperatura, da tensão de alimentação e da resistência da fonte do sinal a ser amostrado.

Ex: para as seguintes condições, temos:

$$C_{HOLD} = 25 \text{ pF}$$

$$R_S = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Erro de Conversão} \leq 1/2 \text{ LSB}$$

$$V_{DD} = 5V \rightarrow R_{SS} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Temperatura} = 85^\circ\text{C}$$

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$$

$$T_{AMP} = 0,2 \text{ }\mu\text{s}$$

$$T_{COFF} = (\text{Temp} - 25^\circ\text{C})(0,02 \text{ }\mu\text{s}/^\circ\text{C}) \\ (85^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0,02 \text{ }\mu\text{s}/^\circ\text{C}) = 1,2 \text{ }\mu\text{s}$$

Coefficiente de temperatura só é necessário para temperaturas maiores que  $25^\circ\text{C}$ . Abaixo de  $25^\circ\text{C}$ ,  $T_{COFF} = 0 \text{ ms}$ .

$$T_C = -(C_{HOLD})(R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2048) \text{ }\mu\text{s} \\ -(25 \text{ pF})(1 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega + 2,5 \text{ k}\Omega) \ln(0,0004883) \text{ }\mu\text{s} = 1,05 \text{ }\mu\text{s}$$

$$T_{ACQ} = 0,2 \text{ }\mu\text{s} + 1,05 \text{ }\mu\text{s} + 1,2 \text{ }\mu\text{s} = 2,45 \text{ }\mu\text{s}$$

Já o tempo de conversão depende do clock de conversão. Esse clock pode ser selecionado como  $F_{osc}/2$ ,  $F_{osc}/4$ ,  $F_{osc}/8$ ,  $F_{osc}/16$ ,  $F_{osc}/32$ ,  $F_{osc}/64$  ou baseado em um oscilador RC interno.

Após uma conversão ser concluída é necessário aguardar 2 períodos do clock antes de se reiniciar o processo.

## Interrupção

O evento de interrupção do ADC é chamado ao término de uma conversão completa. Para a implementação de sistemas de amostragem, onde o intervalo entre as amostras é fixo, pode-se configurar um timer com interrupção que inicie o processo de conversão do ADC e habilitar a interrupção do ADC para tratar as amostras quando a conversão terminar.

Detalhes sobre os registradores que configuram o conversor A/D podem ser encontrados na seção 21 do *datasheet* do PIC18F4550.

## ATIVIDADES

### 1- Download do circuito de simulação.

Acesse a plataforma Moodle e faça o *download* do circuito L10.pdsprj e da biblioteca NXLCD. Salve os arquivos no seguinte diretório de trabalho:

{Disciplina}\_{Turma}\_{Grupo}\_{Número do roteiro}

Ex: C:\EC45C\_C51A\_B1\_L10

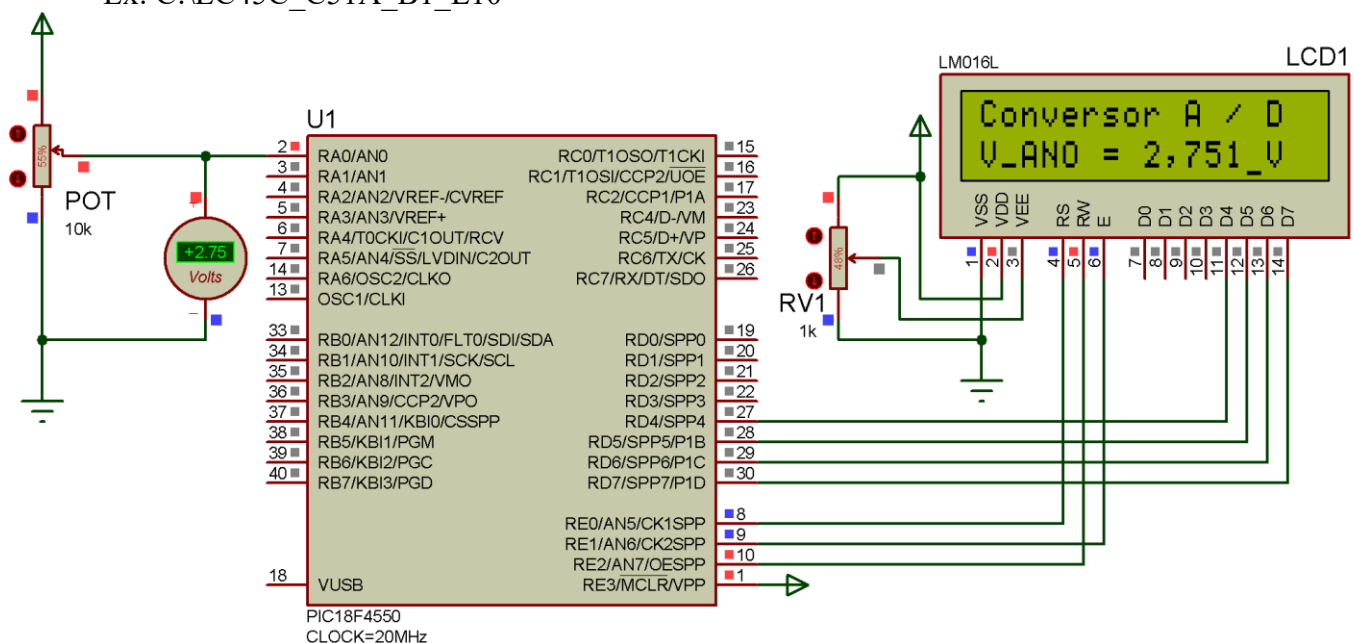


Figura 3: Circuito da atividade L10.

### 2- Desenvolvimento do *firmware*.

Crie um novo projeto no MPLAB X denominado L10 e salve-o no diretório de trabalho criado na atividade anterior.

Desenvolva um *firmware* capaz de:

- Fazer a leitura de um nível de tensão analógica disponível no canal AN0 do uC e proveniente do divisor de tensão formado por um potenciômetro de 10 k $\Omega$ .
- Fazer a leitura de tensão com taxa de aquisição fixada em 500 Hz. Utilizar a interrupção do Timer0 para realizar tal contagem de tempo, comandando o início da conversão AD em uma interrupção de alta prioridade. Utiliza-lo considerando-o como um Timer de 8 bits.

- Configurar a interrupção de baixa prioridade do AD. Dentro da função de tratamento da interrupção, incrementar um contador. A cada 100 leituras do AD, mostrar o resultado da conversão no display de LCD. A escrita no LCD deve ser executada no laço while(1);
- Configurar o pino digital RD0 como saída e comanda-lo para que troque de estado a cada escrita do LCD, de forma que seja possível avaliar a operação adequada do Timer0 e da interrupção do AD;
- Converter o da leitura para uma variável de programa de forma que seja possível escrever o valor da tensão com 3 casas decimais.
- Escrever no display alfanumérico as seguintes informações:
  - Linha 1: Conversor A / D
  - Linha 2: V\_ANO = X,XXX\_V , em função da leitura do nível analógico.

Observações sobre o kit didático XM118:

Possui um cristal de 20 MHz.

O divisor de tensão formado pelo potenciômetro de 10 k $\Omega$  fornece em sua saída níveis entre 0 e 5V.

Para que a tensão do divisor de tensão chegue ao uC, o pino 5 do *DIP switch* CH1 deve ser ligado.

### 3- Simulação do *firmware* gerado no Proteus.

Simule o *firmware* no Proteus e apresente o funcionamento ao professor.

### 4- Gravação e execução do código de máquina no microcontrolador

Grave o código de máquina no microcontrolador e apresente o funcionamento para o professor.

### 5- Envio dos resultados para plataforma Moodle.

Compacte o diretório de trabalho com o projeto do *firmware* L10 em um arquivo .zip.

Nomeie o arquivo obedecendo o seguinte formato:

{Disciplina}\_{Turma}\_{Grupo}\_{Número do roteiro}.zip

Ex: EC45C\_C51A\_G1\_L10.zip

Envie o arquivo compactado acessando a atividade “L10”.