



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

UMA BALANÇA ELETRÔNICA DIGITAL IMPLEMENTADA EM DISPOSITIVO LÓGICO PROGRAMÁVEL

Ricardo Menezes de Vasconcellos – ricvasc@yahoo.com.br

CEFET/SC – Gerência Educacional de Eletrônica

Av. Mauro Ramos, 950 – Centro

CEP 88020-300 – Florianópolis - SC

Daniel de Souza Pereira

Wilson Berckembrock Zapelini, Dr. – zapelini@cefetsc.edu.br

***Resumo:** Este artigo aborda o desenvolvimento do protótipo de uma balança eletrônica, cujo funcionamento se baseia na deformação mecânica de determinados resistores especiais. Estes resistores variam sua resistência conforme são "esticados", respondendo a uma variação de tensão analógica, que será após convertida numa seqüência de bits digitais. Estes bits são processados num dispositivo lógico programável, que conforme sua programação, envia sinais para suas saídas, possibilitando acender os segmentos de displays, mostrando o referido peso.*

***Palavras-chave:** Dispositivo lógico programável, Balança eletrônica, Conversor A/D.*

1. INTRODUÇÃO

O Projeto Integrador 2 do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Digitais tem a finalidade de relacionar conceitos que integram as disciplinas deste Módulo, analisando e implementando estruturas com interfaces entre o mundo analógico e o mundo digital, onde as unidades curriculares Transdutores, Dispositivos Lógicos Programáveis e Conversores D/A e A/D são as expoentes.

1.1. Transdutor

Inicialmente, o protótipo requereu o estudo da **célula de carga** que comporá o sistema transdutor. Os tamanhos, formas e aplicações de células de carga são diversos. Para cada aplicação é preciso definir a geometria adequada, dimensioná-la de forma a obter apenas deformação elástica e escolher o circuito de extensômetro que permite uma aquisição de sinais confiáveis.

O sensor é um instrumento que detecta ou mede uma condição ou propriedade, e grava, indica ou responde à informação recebida. Ele tem a função de converter um estímulo em um sinal mensurável. O estímulo pode ser mecânico, térmico, eletromagnético, acústico ou químico. Os sensores piezoelétricos são os que têm a mais alta frequência de operação, por

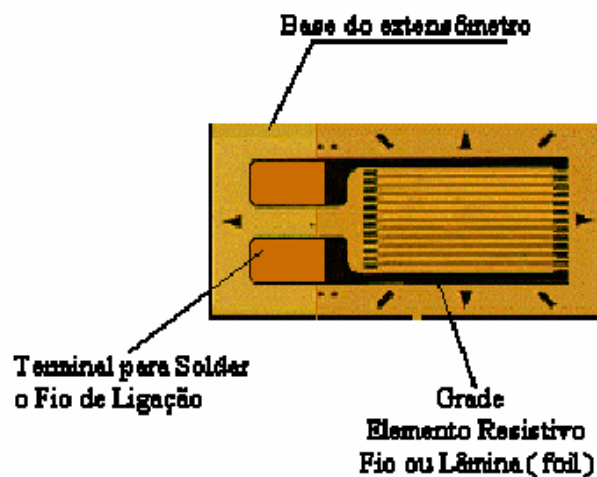
isso, são usados para medir forças dinâmicas. Os sensores piezoresistivos têm o elemento sensível piezoresistivo de silício. Sua resistência aumenta conforme a força imposta. Eles têm alta sensibilidade à temperatura e uma faixa de sensibilidade pequena por causa do elemento frágil de mola.

A célula de carga elementar é formada por extensômetros resistivos. Quando esticados esses elementos sofrem uma variação na resistência proporcional à força aplicada. Essa variação na resistência é medida usando um circuito adequado. As células de carga dominam a indústria pesada, existem em grande versatilidade, possuem alta precisão e baixo custo. Têm também grande variação na sensibilidade devido à diversidade de modelos, com comprimentos variando de 15 a 400 mm.

Um transdutor é um mecanismo ou componente que transforma um tipo de energia em outra. A bateria é um transdutor (energia química em elétrica), assim como o termômetro (calor convertido em espaçamento mecânico). O transdutor a ser empregado é de uma específica classe onde traduz energia mecânica de entrada para sinais elétricos equivalentes que medem e controlam esta entrada. Esse tipo de transdutor elétrico-mecânico é geralmente alocado no ponto de entrada da força física ou da energia e devolve sua magnitude. O leitor ou instrumento de controle pode ser posicionado em qualquer distância do transdutor, conectando-se a ele por fiação elétrica.

Na sua forma mais completa, o extensômetro elétrico é um resistor composto de uma finíssima camada de material condutor, depositado sobre um composto isolante. Este é colado sobre a estrutura em teste com auxílio de adesivos como epóxi ou cianoacrilato. Pequenas variações de dimensões da estrutura são então transmitidas mecanicamente ao *strain gage* (figura 1), que transforma essas variações em variações equivalentes de sua resistência elétrica (por esta razão, os *strain gages* são definidos como transdutores).

Figura 1 – Diagrama do extensômetro tipo folha (*strain gage*)



Os extensômetros tipo folha são os mais usados e são confeccionados com técnicas de circuito impresso, normalmente sobre substratos de plástico ou papel, principalmente, devido ao grande desenvolvimento que sofreram as técnicas de circuito impresso. O material resistivo (filme) possui alguns micra de espessura e está depositado num material eletricamente isolado, chamado base.

As principais características dos extensômetros são: grande precisão (1%), boa linearidade, fácil instalação, ampla faixa de temperatura, pequeno, leve e barato, possibilita realizar medidas à distância, excelente resposta estática e dinâmica, aplicável mesmo sob condições severas, pequeno custo por ponto de medida.

A seleção do *strain gage* apropriada para determinada aplicação é influenciada pelas características seguintes: objetivo (tipo) da medição, o material aonde será colado, dimensões do *strain gage*, precisão, potência que o *strain gage* pode dissipar, material da grade metálica e sua construção, material do suporte isolante, material do adesivo, tratamento e proteção do medidor e configuração.

Pode-se "calibrar" a variação relativa de resistência em função da deformação relativa (ϵ) da peça (no regime elástico). Define-se o "*gage factor*" (sensibilidade do extensômetro) da seguinte forma, expressa na equação 1 abaixo:

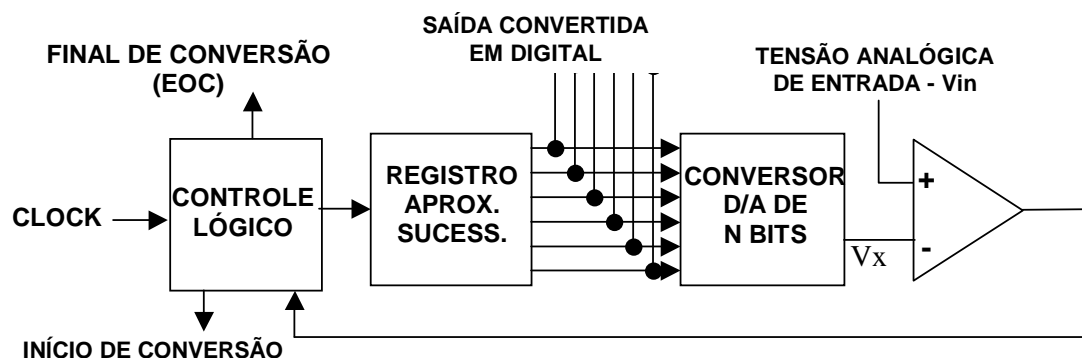
$$\text{Fator do extensômetro} = \frac{\text{Variação relativa de resistência elétrica}}{\text{Deformação relativa } (\epsilon)} = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (1)$$

1.2. Conversor A/D

Como segunda etapa do protótipo, os conversores analógico/digitais (A/D) são dispositivos que convertem um sinal analógico num sinal digital equivalente. Existem diversos tipos de conversores A/D: paralelo ou flash, de aproximações sucessivas, contagem de pulsos, dentre outros.

O conversor A/D a ser utilizado é de aproximações sucessivas. Este conversor é muito popular porque permite atingir resoluções de até 32 bits de forma rápida (taxas de conversão de até 1 MHz), onde este tempo é independente da tensão de entrada. O método de conversão consiste na geração de um sinal através de um conversor D/A o qual é comparado com o sinal de entrada. A entrada digital do conversor D/A é a saída do conversor A/D, como mostra a figura 2 abaixo.

Figura 2 – Diagrama de blocos de um conversor A/D de aproximações sucessivas



1.3. Dispositivos Lógicos Programáveis

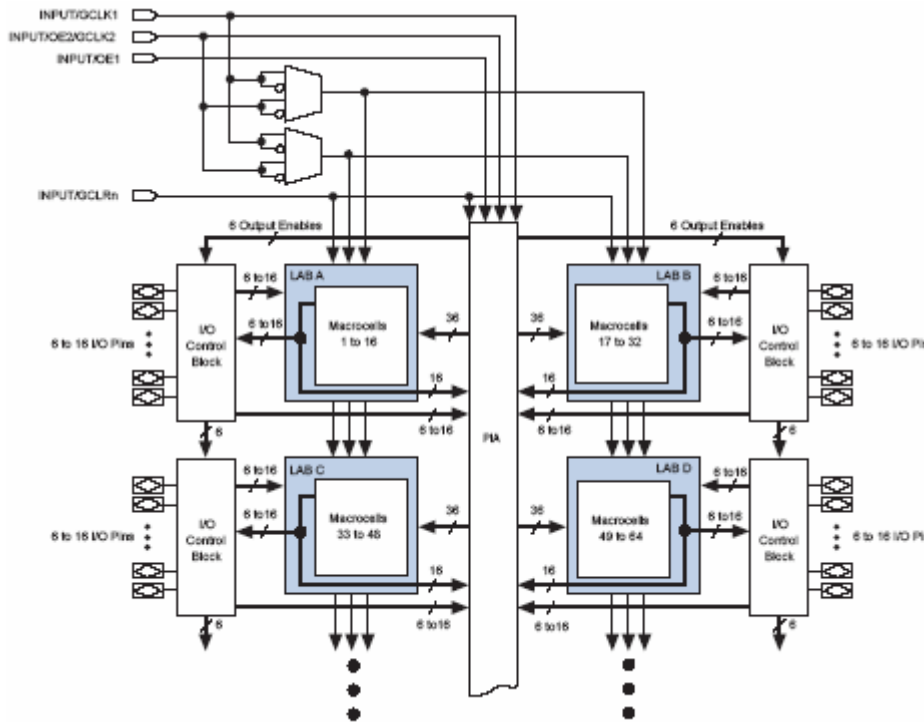
Na terceira etapa do projeto, foram utilizados dispositivos lógicos programáveis (PLDs). Estes dispositivos têm todas as características de um circuito integrado padronizado, porém, permitem uma programação específica para executar inúmeras funções desejadas. Nada mais é que um grande circuito integrado contendo uma grande quantidade de portas lógicas, *flip-flops* e registradores.

O princípio de funcionamento de um PLD consiste em várias conexões que são elos fusíveis, semelhantes aos encontrados em PROMs e EPROMs, que podem ser queimados. Estas conexões são configuradas de tal maneira a formarem arranjos de blocos (*gate arrays*), e estes em arranjos de células (*cell based*), e em arranjos gerais de células (*macro-cells ou general cells*). Estas **macrocélulas** são construídas com blocos e células compondo uma

biblioteca de funções, com restrição no posicionamento destes itens em uma fila ou em uma matriz.

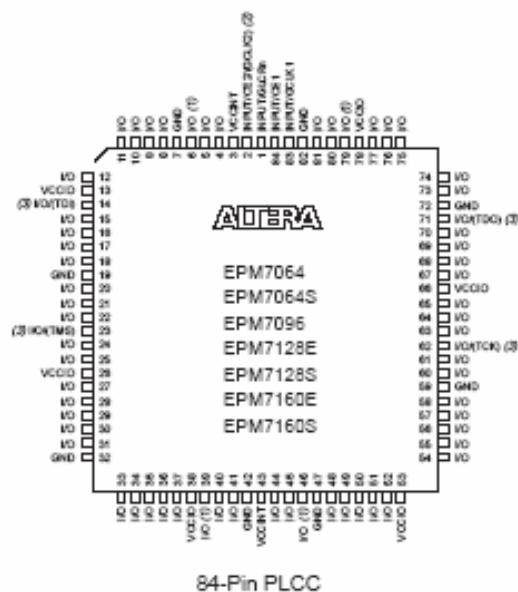
A Figura 3 abaixo mostra como é constituído em blocos funcionais um PLD ALTERA MAX 7000S, onde se podem observar como os diversos blocos de macrocélulas comunicam-se com os pinos de entrada e saída (I/O).

Figura 3 – Diagrama de blocos funcional PLD ALTERA MAX 7000S



No projeto foi utilizado o PLD ALTERA EPM128S, cujo encapsulamento é do tipo PLCC e a disposição dos pinos de entrada e saída(I/O) são mostrados na figura 4 a seguir.

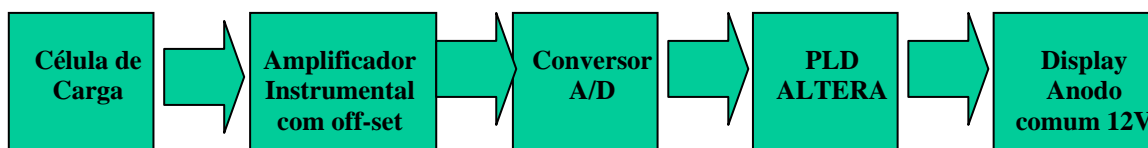
Figura 4 – PLD ALTERA MAX EPM128S



2. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O desenvolvimento do protótipo foi realizado nas dependências do CEFETSC, utilizando-se recursos da Gerência Educacional de Eletrônica. A balança escolhida foi a de célula de carga, com uma capacidade de pesos maiores e com menor precisão, comparadas com outros tipos. Para um entendimento detalhado, o diagrama de blocos da figura 5 abaixo apresenta as várias partes constituintes.

Figura 5 – Diagrama de blocos da balança digital



Na seqüência serão abordados os vários blocos constituintes, procurando mostrar isoladamente sua finalidade e operação.

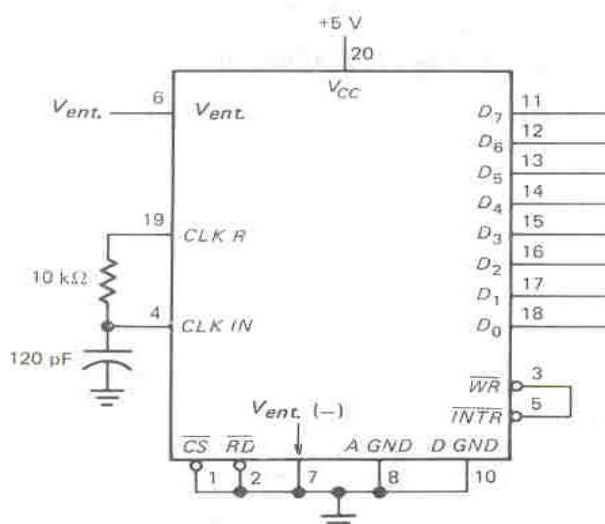
2.1. Célula de carga

A balança a ser utilizada, que não faz parte do trabalho desenvolvido pelos alunos, é do kit da FESTO DIDACTIC com seus extensômetros bem localizados e dimensionados. À medida que se coloca um peso sobre a balança, os extensômetros sofrem uma deformação variando a resistência e, automaticamente, resulta numa tensão de saída que passa para o próximo estágio, a qual será aumentada através de um amplificador com ajuste de *off-set*.

2.2. Conversor A/D

Como visto anteriormente, cada peso corresponde a uma tensão analógica na saída. Esta tensão necessita ser convertida para valores digitais, função que será executada pelo conversor A/D. Foi escolhido o ADC0804, um circuito integrado adequado ao protótipo, com grau de precisão suficiente e sendo ajustada uma tensão de referência para que o valor de saída corresponda ao valor binário do peso. A figura 6 a seguir mostra a pinagem e devidas conexões.

Figura 6 – Diagrama esquemático do conversor ADC 0804

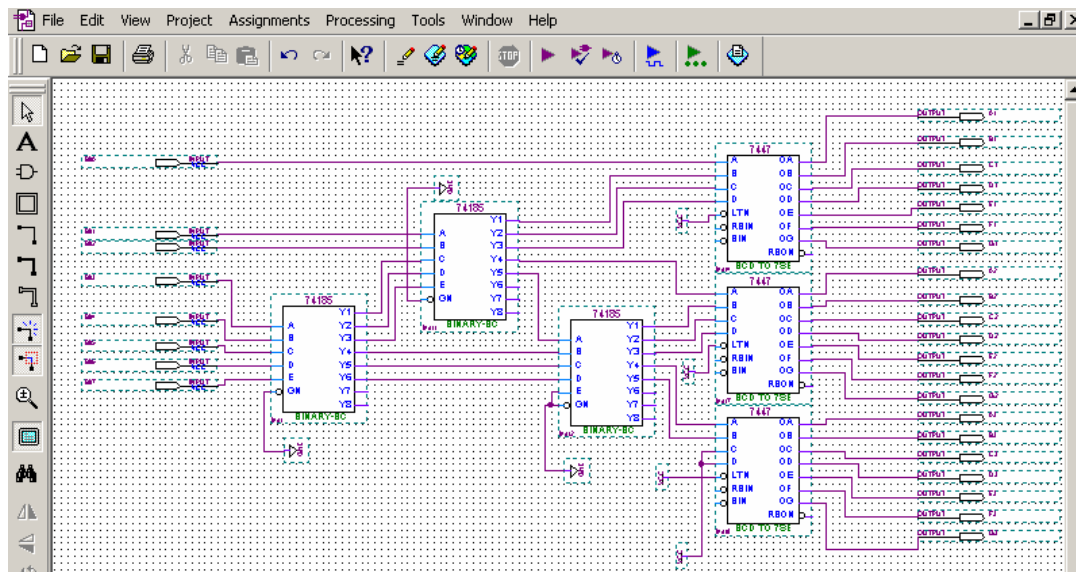


2.3. PLD ALTERA

Esta etapa da balança digital constitui-se do cérebro do processo, pois é onde será definida a lógica que apresentará os resultados na interface de saída.

A função do PLD é processar os sinais digitais obtidos através do conversor A/D e fornecer sinais em suas saídas correspondentes para os displays. Esta lógica consiste em converter linguagem binária a 8 bits em BCD (Binário Codificado em Decimal) e, posteriormente, em correspondentes valores decimais para displays de 7 segmentos. O circuito que descreve tal lógica é mostrado na figura 7 a seguir.

Figura 7 – Lógica no *software* Quartus II da ALTERA



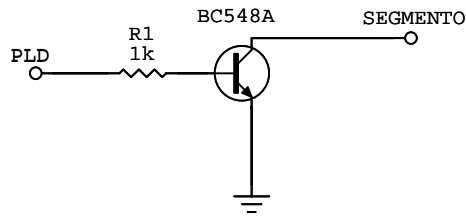
Foi construído no software Quartus II da ALTERA um diagrama de blocos para a lógica desejada, sendo necessário efetuar um cascadeamento de blocos conversores fornecidos pelo software para que se chegasse ao resultado esperado.

Após a construção da lógica no software, gravou-se o mesmo no dispositivo ALTERA EPM 7128SLC84-15, concluindo assim todo o processo de construção da etapa de lógica programável do projeto.

2.4. Display de 7 Segmentos

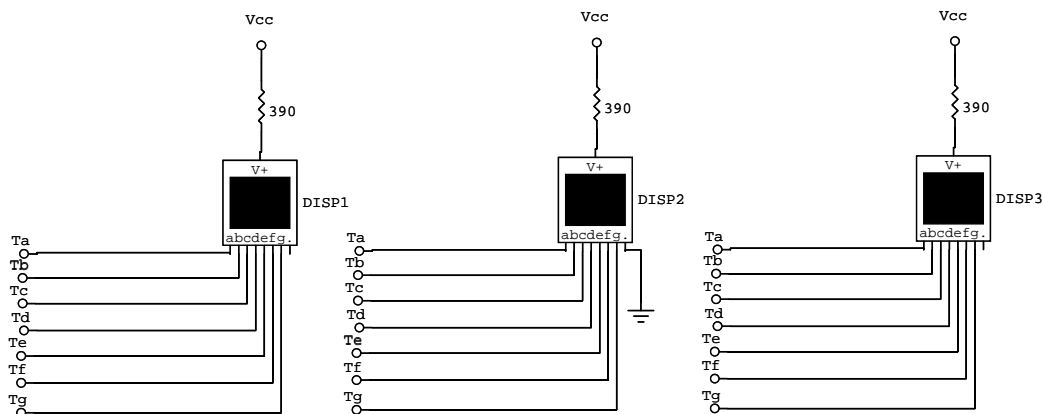
Nesta última e delicada fase do projeto, foi construído um circuito para acionar os *displays* anodo comum 12 V, pois os mesmos não poderiam ser acionados simplesmente pelas saídas do PLD ALTERA, em função de sua baixa corrente. Para isso, um circuito de acionamento para cada segmento foi implementado, conforme mostra a figura 8.

Figura 8 – Circuito acionador de segmento dos *displays*



Pode-se observar que, apesar dos segmentos serem acionados com lógica 0, o PLD ALTERA foi configurado para acionar em nível lógico 1 em sua saída. O circuito dos *displays* é mostrado com detalhes na figura 9.

Figura 9 – *Displays* de 7 segmentos



3. RESULTADOS OBTIDOS

O conversor integrado ADC0804 apresentou grau de precisão suficiente e sendo ajustada sua tensão de referência em 1,68V, para que o valor de saída corresponda ao valor binário do peso. A resolução do conversor ADC0804, para o projeto em questão foi de 13,14 mV, tendo-se um fundo de escala de 3.366 mV.

A partir de massas padrões, que variam de 1Kg até 10Kg, foi feito um ensaio para determinar os valores de tensão para cada peso correspondente, como mostrado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Tabela de resposta de tensão

Peso (Kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vs (mV)	132	264	394	530	656	780	920	1032	1167	1309

4. CONCLUSÃO

Ao término da realização deste protótipo como atividade do Projeto Integrador, conclui-se da importância e da necessidade de conhecer e utilizar as diversas tecnologias incorporadas num equipamento digital. Entende-se que as dificuldades encontradas fazem parte do processo de aprendizagem, pois, para que as dificuldades sejam vencidas é preciso que elas se revelem neste momento, quando se têm os professores orientando o trabalho.

Também se pode perceber o poder da tecnologia de integração e miniaturização dos dispositivos lógicos programáveis, tema gerador do projeto. Integrando o seu poder de

construção de circuitos lógicos e aliando a outros conhecimentos adquiridos nas diversas disciplinas que faziam parte do módulo, pode-se construir com certa eficiência a balança digital prevista neste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTERA. **MAX 7000S – Literature**. Disponível em: <<http://www.altera.com>>. Acesso em: 15 nov. 2004.

MÉLO, Édson Francisco N. **Uma introdução ao projeto de PLD com o Max+Plus II**. Florianópolis: CEFET/SC, 2002 (apostila).

NÖLL, Valdir. **Transdutores**. Florianópolis: CEFET/SC, 2003 (apostila).

TOCCI, Ronald J. e WIDMER, Neal S. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

ZAPELINI, Wilson B. **Dispositivos lógicos programáveis (PLDs)**. Florianópolis: CEFET/SC, 2004 (apostila).

ZAPELINI, Wilson B. **Conversores digital-analógicos e analógico-digitais**. Florianópolis: CEFET/SC, 204 (apostila).

DIGITAL ELECTRONIC BALANCE IMPLEMENTED WITH PROGRAMABLE LOGIC DEVICE – PLD

Abstract: *This paper is concerned to the development of an electronic balance prototype, whose operation is based on the mechanical deformation of certain special resistors. Those resistors vary their resistance when they are "stretched", responding to a variation of analogical voltage, that it will be then turned into a sequence of digital bits. Those bits are processed in a programmable logical device; sending signs to the exits, lightning displays' segments, showing the referred weight.*

Key-words: *Programmable logic device, Electronic balance, A/D converter.*