



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE MEDIÇÃO DE INCLINAÇÃO E DE TEMPERATURA PARA O PARAIBAJA 2006

Luiz Gustavo Martins Vale – valegustavopb@yahoo.com.br

José Mauricio Ramos de S. Neto - josemauricio123@gmail.com

Isaac Barreto Queiroz - isaacqueiroz@gmail.com

Tomás Victor Gonçalves Pereira Araújo – tomasvictor@yahoo.com

Antonio Marcus Nogueira Lima – amnlima@dee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG,

Departamento de Engenharia Elétrica – DEE,

Laboratório de Instrumentação e Controle – LIEC

Av. Aprígio Veloso, nº 882 - Bodocongó

58.109-970 - Campina Grande - PB

Juscelino de Farias Maribondo – juscelin@dem.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG,

Departamento de Engenharia Mecânica – DEM

Av. Aprígio Veloso, nº 882 - Bodocongó

58.109-970 - Campina Grande - PB

***Resumo:** Este artigo descreve uma plataforma de medição de inclinação e temperatura que foi desenvolvida como uma atividade de projeto de engenharia do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Esta plataforma constitui parte do sistema de instrumentação eletrônica do veículo experimental denominado Paraibaja que também foi desenvolvido com uma atividade de projeto de engenharia do curso de graduação em engenharia mecânica para participar do projeto Mini Baja. Este projeto é uma competição que envolve estudantes de universidades de todo o país e cujo objetivo é construir um protótipo de veículo recreativo, off-road e monoposto. A plataforma de medição desenvolvida é um sistema embarcado que tem por objetivo melhorar o desempenho do Paraibaja durante a competição.*

***Palavras-chave:** Microcontrolador, Acelerômetro, Temperatura.*

1. INTRODUÇÃO

A competição SAE – BRASIL PETROBRÁS de Mini Baja (MB) é realizada em Piracicaba – SP e tem como objetivo integrar várias universidades do país que tenham atividades no setor automotivo. Os MBs são veículos monoposto construído sobre um chassi tubular em aço, suspensão independente nas quatro rodas, carroceria em fibra de vidro, carbono ou kevlar obedecendo às normas e procedimentos de segurança da competição. A

Universidade Federal de Campina Grande participou dessa competição no ano de 2003 construindo um MB chamado de Paraibaja 2003.

Os alunos de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande ficaram responsáveis pela instrumentação eletrônica do Paraibaja 2006. A equipe Paraibaja 2006 trabalhará focada em superar as adversidades encontradas em 2003, visando melhorar o funcionamento do sistema. Para a competição de 2006 é proposto um sistema embarcado baseado em um microcontrolador da família ADuC da *Analog Devices*, visando uma instrumentação de melhor qualidade e maior capacidade de processamento. O circuito eletrônico da instrumentação do MB será devidamente condicionado em um módulo que o proteja das condições hostis que possam comprometer seu funcionamento.

O artigo tem como objetivo descrever parte da instrumentação do Paraibaja 2006, sendo eles: o desenvolvimento de uma plataforma de medição de inclinação (sensor ADXL202) e um sistema de monitoramento de temperatura (sensor LM35) em dois pontos específicos do carro. Estes sensores são monitorados pelo microcontrolador ADUC 812 da *Analog Devices*, que também atualiza um *display* (LCD 16x2) ciclicamente.

Este trabalho tem importância significativa principalmente devido ao desenvolvimento intelectual do grupo envolvido, preparando-os para o campo de trabalho almejado por estes.

O sistema foi desenvolvido a partir de modificações do trabalho feito em 2003, a melhoria dos componentes utilizados e as inovações propostas foram trabalhadas de forma a obter-se resultados mais satisfatórios que os alcançados na última participação.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: descrição de parte da instrumentação, componentes e metodologia utilizada, considerações finais e referências.

2. MINIBAJA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

O desenvolvimento de um Mini-Baja pode ser considerado como uma ferramenta de ensino multidisciplinar. O projeto e a construção de um veículo experimental que atenda às características definidas pelo Comitê Organizador da competição Mini Baja caracteriza um projeto de engenharia cuja realização requer a interação, de forma ordenada, de profissionais de engenharia com diferentes habilidades.

Para a construção da parte estrutural do carro é necessário que os alunos de engenharia mecânica adquiram conhecimentos específicos que são obtidos durante o decorrer da formação acadêmica. Estes conhecimentos são usados para conceber, projetar e construir veículo competitivo, seguro e eficiente. Esta atividade de projeto pode associada tanto às disciplinas da grade curricular quanto aos trabalhos de iniciação científica.

No que concerne os alunos de engenharia elétrica o problema central consiste no projeto e implementação do sistema de instrumentação do veículo projetado pelos alunos da engenharia mecânica. Este sistema de fato pode ser considerado como um sistema embarcado onde os alunos utilizarão, por exemplo, conhecimentos relacionados, com o uso de conversores analógicos/digitais e digitais/analógicos, técnicas de medição, amplificadores operacionais e sensores inteligentes.

3. INSTRUMENTAÇÃO DO PARAIBAJA 2006

A equipe Paraibaja 2006 trabalhará focada em superar as adversidades encontradas em 2003, visando melhorar o funcionamento do sistema. Para a competição de 2006 é proposto um sistema embarcado baseado em um microcontrolador da família ADuC da *Analog Devices*, visando uma instrumentação de melhor qualidade e maior capacidade de processamento. O circuito eletrônico da instrumentação do MB será devidamente

condicionado em um módulo que o proteja das condições hostis que possam comprometer seu funcionamento.

Na Figura 1 tem-se de forma esquemática, uma representação do sistema de instrumentação que será utilizada no Paraibaja 2006.



Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema de instrumentação.

3.1 Temperatura do ar de admissão

Segundo Araújo, T, V, G, P. (2003), a medição da temperatura do ar de admissão auxiliará a equipe no cálculo do consumo de combustível, sendo de importância fundamental no ajuste do motor, de maneira a obter-se o máximo rendimento possível.

A determinação da temperatura do ar de admissão é feita através de um sensor eletrônico. Um condicionamento prévio é feito de modo que o sinal proveniente do sensor fique dentro da faixa de conversão (0 - 2,5V) do microcontrolador utilizado. Amplificando o sinal a ser medido, pode-se então utilizar a resolução máxima do Conversor A/D dentro da faixa de valores a ser medida.

3.2 Temperatura do motor

A temperatura do óleo do motor é uma informação de grande importância para o piloto. Quando superaquecido, o motor fica fora de seu regime ideal de trabalho, causando um maior desgaste dos componentes internos e por conseqüência uma perda de rendimento. Por se tratar de uma medição térmica o sistema de condicionamento e aquisição é o mesmo dos demais sensores de temperatura.

3.3 Medição de inclinação

O Sistema de medição de inclinação tem importância fundamental no ajuste de alguns parâmetros do MB. Nos ajustes estáticos é possível então fazer um balanceamento das cargas das suspensões entre os eixos traseiro e dianteiro do carro, de forma que, quando colocado em uma superfície plana, seja possível ajustar as alturas das suspensões. Este ajuste é realizado com o intuito de manter o centro de massa do MB o mais próximo possível do solo e coerente com as características do terreno da prova, garantindo assim uma maior estabilidade (Figura 2).

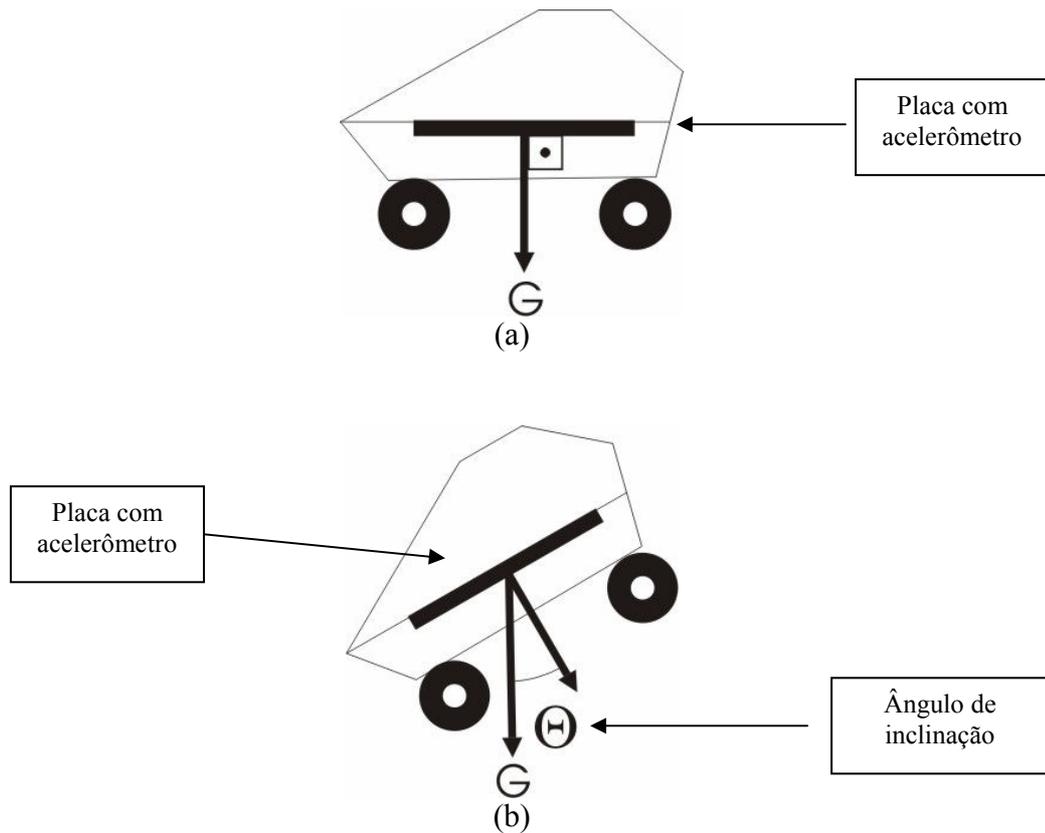


Figura 2 - Sistema de ajuste estático da inclinação do MB. a) Carro perfeitamente ajustado. b) Carro desajustado com parte frontal inclinada para baixo.

A medição de inclinação é feita através de um sistema de acelerometria de forma que a aceleração gravitacional será referenciada como eixo central para os ajustes de inclinação do MB. Com base neste sistema temos o objetivo de determinar o ângulo de inclinação θ representado na Figura 2.

Tal ângulo de inclinação pode ser determinado mediante decomposição da força G .

3.4 Painel e LCD

O painel juntamente com o LCD são os meios pelos quais o piloto visualiza as informações colhidas pelos diversos sensores espalhados pelo carro (Figura 3).

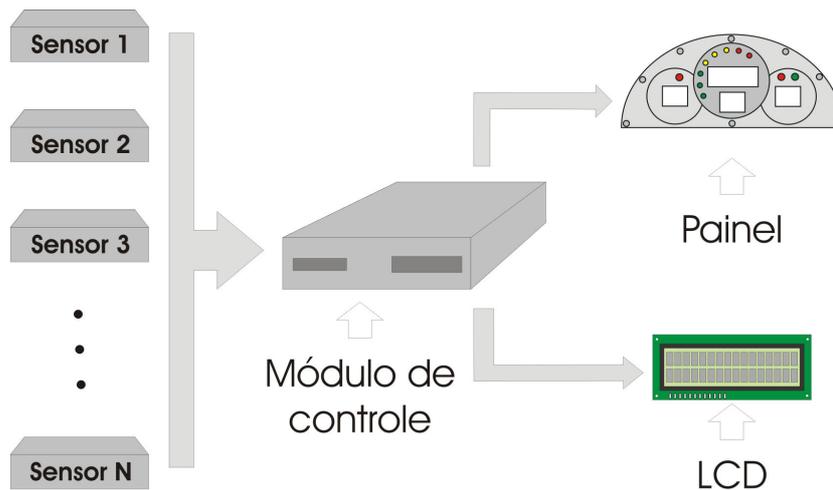


Figura 3 – Ilustração do sistema de sensoriamento e disposição visual para o piloto do MB.

Será utilizado um painel, constituído por led's e mostradores de sete segmentos, e um LCD, organizados de tal forma que o piloto conheça a situação do carro em um determinado instante (Figura 4).

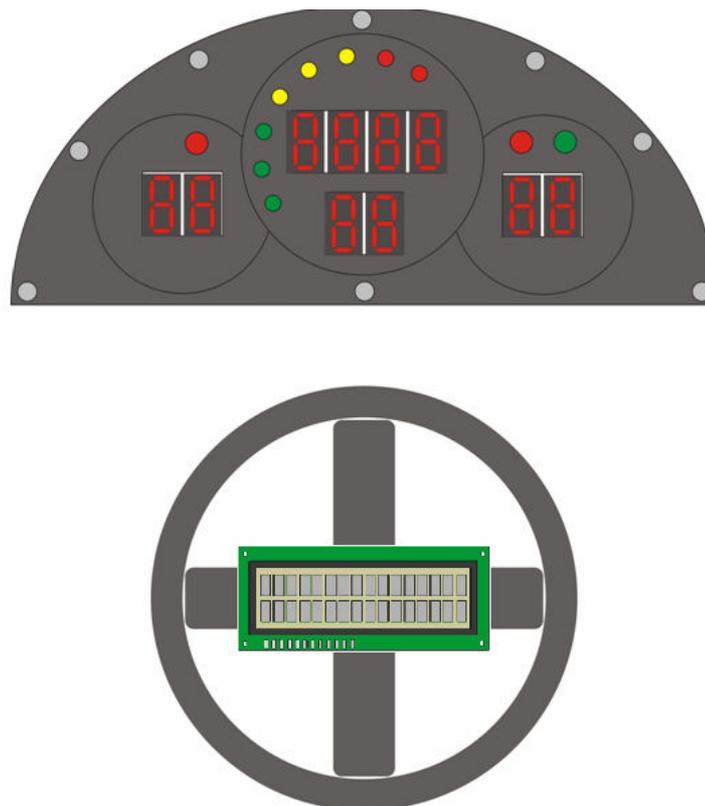


Figura 4 – Painel e LCD fixado na direção.

Na verdade o LCD terá função auxiliar, ou seja, exibirá informações extras ao piloto, onde, através de alguns botões de controle ele poderá escolher quais informações ele deseja visualizar, ou seja, poderá navegar entre as seguintes opções: nível de inclinação do carro e níveis de temperatura dos dois locais propostos.

4. DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS E METODOLOGIA

4.1 Microcontroladores

O microcontrolador também é conhecido como microcomputador de um só chip reunindo num único componente vários elementos de um sistema, antes baseado em microprocessador e que eram desempenhados por vários componentes independentes tais como RAM, ROM, comunicação serial, etc. Um microcontrolador pode ser específico, para cada produto, em um sistema “embutido” de controle (*Embeded System* ou Sistema Embutido ou Embarcado), caracterizando-se apenas pelo programa interno gravado em sua memória (*firmware*). Incorpora internamente vários periféricos como: memória de programa e de dados, *timers*, *watch dog timers*, comunicação serial, conversores Analógico/Digital, tornando a aplicação final compacta. Os microcontroladores são utilizados em várias aplicações, tais como: acessórios de informática, produtos de consumo, utensílios domésticos e acessórios automotivos. Por se tratar de Sistema Embutido, os microcontroladores são dedicados para o controle determinado sistema, como os utilizados em Fornos de Microondas e Vídeos Cassetes, por exemplo, que são específicos para cada marca, modelo e série (Figura 5).

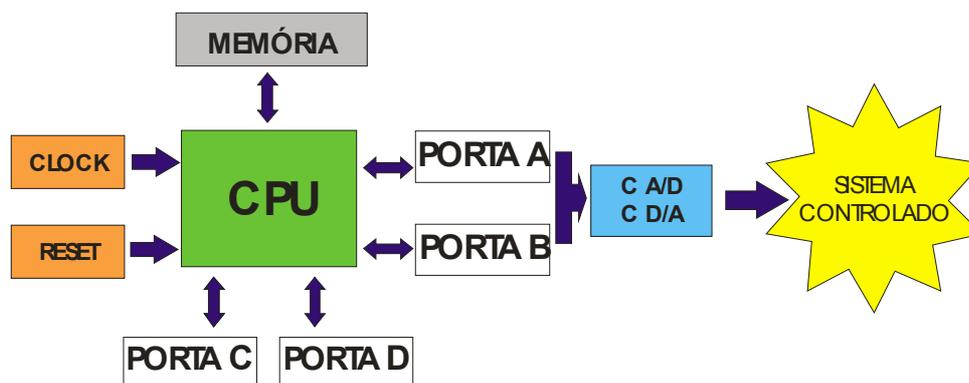


Figura 5 – Sistema de controle microcontrolador.

A escolha do aduC

Os Microcontroladores ADUC possuem uma série de recursos que possibilita sua aplicação em várias modalidades de instrumentação, segundo o data sheet do componente da Analog Devices (2005), podendo desta forma, ser utilizado para desenvolver desde sistemas de controle integrados a sensores inteligentes. Por possuir um núcleo com a arquitetura do 8052 a programação fica mais acessível, pois compiladores em linguagem C como o KEIL já são compatíveis e dispõem de recursos para a família ADUC.

Tais características foram visadas na escolha do microcontrolador a ser implementado na instrumentação do MB e como esperado estão sendo satisfeitas.

4.2 LCD

Visando um modo de observação mais qualitativo das informações mensuradas, esta sendo utilizado um LCD (Liquid Cristal Display), Optrex Corporation (2000). Este dispositivo permite a visualização de informações sobre o MB pelo piloto, atendendo as normas de ergonomia necessárias ao bem estar do mesmo e auxiliando o painel sem sobrecarregá-lo.

O LCD utilizado foi do tipo 16x2 no qual se obteve uma boa visualização das informações em um pequeno espaço (Figura 6).

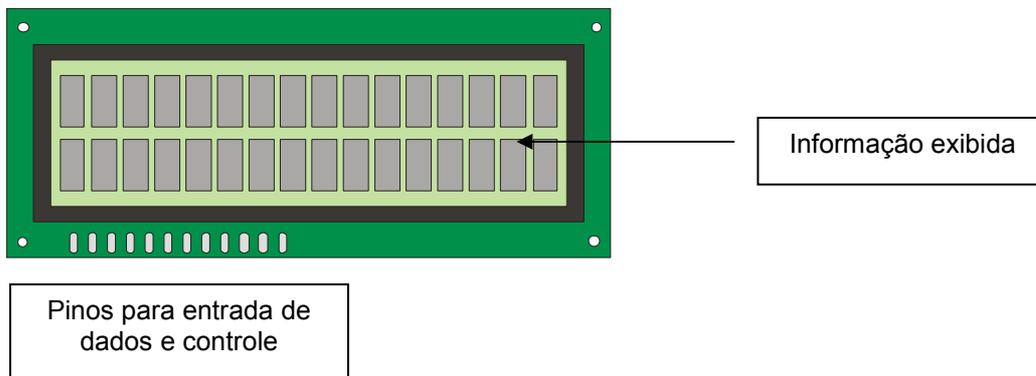


Figura 6 – Representação de um LCD 16x2.

Sua implementação toma por base o número de bits necessários para formação de um caractere ou comando. São sete bits de dados e um de controle para sua interpretação, ou seja, distinção entre caractere ou comando.

O LCD foi implementado com a utilização de apenas uma porta do Aduc, que foi atendida de forma completa, suprimindo inclusive a necessidade da alimentação do dispositivo. Sua metodologia de testes foi baseada na comparação entre as *strings* enviadas ao LCD e sua visualização pelo *Hiper Terminal*. A este grupo de dados não foram encontrados problemas, porém a visualização de números, não se dá de forma simples, havendo a necessidade de uma conversão dos números para sua impressão digito a digito, ou seja, não existe a conveniência da impressão direta de números de mais de um digito.

4.3 Amplificadores de instrumentação

Os amplificadores de instrumentação são um tipo especial de amplificadores operacionais que possuem algumas características especiais:

- Resistência de entrada extremamente alta;
- Resistência de saída menor que a dos amplificadores comuns;
- CMRR¹ superior a 100 dB;
- Ganho de tensão em malha aberta muito superior ao dos amplificadores operacionais comuns;
- Tensão de *offset* de entrada muito baixa.

INA 101

O INA 101 é um amplificador de instrumentação designado para amplificação de sinais de nível baixo, de acordo com Burr – Brown (2005). Ele é composto de três amplificadores operacionais precisos e tem características importantes como às citadas no item 3.3.

O ganho deste amplificador é determinado pela conexão de um resistor, R_G (Figura 7), nos pinos 1 e 4, e calculado através da equação (1):

$$G = 1 + \frac{40k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

¹ *Common-Mode Rejection Ratio* (Razão de Rejeição de Modo Comum).

O termo $40\text{ k}\Omega$ foi obtido pela soma dos dois resistores de realimentação. A precisão e o coeficiente de temperatura desses resistores já são incluídos na precisão do ganho.

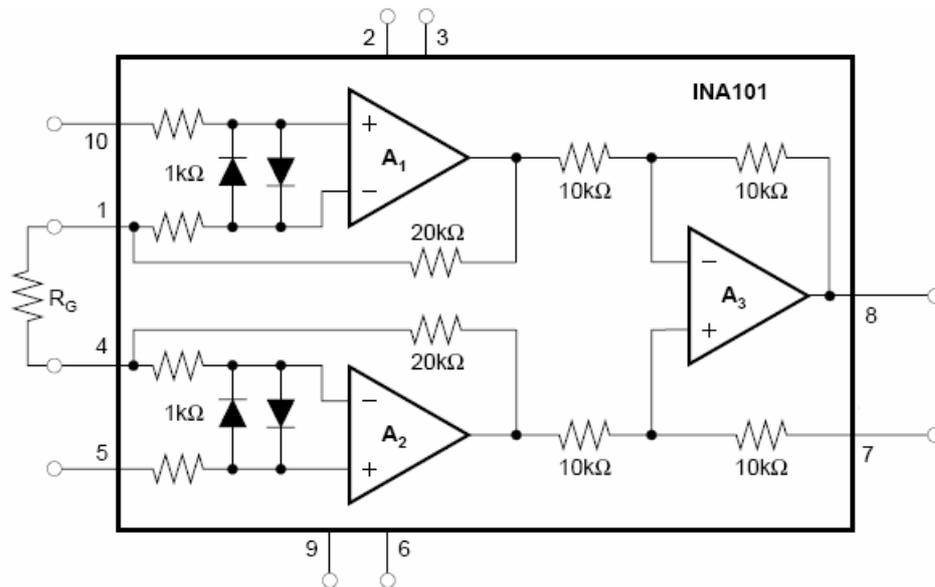


Figura 7 – Composição interna do INA101.

4.4 Termômetro eletrônico

A temperatura pode ser um fator crucial em uma competição onde é necessário que todos os componentes do MB trabalhem segundo características pré-estabelecidas, ou seja, a temperatura pode alterar o modo de funcionamento dos componentes que constitui o MB.

O MB é projetado para se ter máximo rendimento, e a temperatura pode prejudicar na busca por tal. Por isso faz-se necessário um indicador de temperatura para que a equipe, durante a corrida, busque de imediato, soluções para evitar prejuízos maiores e irreversíveis que venham até causar a retirada do carro durante o enduro.

Dois locais foram escolhidos para fazer a medição da temperatura. Um desses locais foi o motor, sua temperatura é verificada através do óleo e sua informação é de grande importância devido a características como superaquecimento, o motor fica fora de seu regime ideal de trabalho, causando um maior desgaste dos componentes internos e por consequência uma perda de rendimento. O superaquecimento indica também que o sistema está sobrecarregado e precisa ter o esforço aliviado. Quando o motor está “frio” seu rendimento também não é bom, devido ao aumento do consumo de combustível e a diminuição do torque produzido. As reações internas (combustão) precisam estar dentro de uma faixa operacional de melhor desempenho.

Outro ponto de medição visa coletar informações sobre o ar de admissão do motor. Certa parcela desta massa de ar esta ligada diretamente ao rendimento do motor, devido à queima do combustível ser realizada sobre a presença deste ar. Tal informação é de grande valia em sistemas de injeção eletrônica, pois nestes existe o controle do volume de combustível injetado no sistema, o que proporciona um melhor rendimento do carro.

O sensor de temperatura utilizado para medição foi o LM 35. Este sensor de temperatura produz uma tensão de saída que é linearmente proporcional a temperatura em graus Celsius.

Além de não precisar de uma calibração externa, o LM35 tem uma baixa impedância de saída ($0,1\ \Omega$ para 1 mA) e pode medir temperaturas entre -55 a $150\text{ }^\circ\text{C}$, de acordo com especificações do data sheet do componente, National Semiconductor (2005).

Baseado na resolução do conversor A/D faz-se necessário o cálculo da temperatura com relação a tensão de entrada. São feitas 16 leituras no conversor, dessas leituras extraímos uma média a qual é realizada uma multiplicação pela resolução do conversor, esta devido ao número de bits do canal (12 bits = 4096 divisões), ou seja, a tensão de referência do Aduc (2,5V) é dividida em 4096 intervalos o que nos dá uma resolução de 0.00061035V. Para se ter a temperatura ambiente armazenada na variável *temperatura_ambiente* multiplica-se a variável *tensão_adc* por 100, pois o sinal de saída é em mV.

Para visualização desta temperatura utilizou-se duas ferramentas. Inicialmente o *Hiper Terminal*, pois, considerando que a transmissão de dados pelo Aduc é feita de forma serial, este recurso permite a visualização dos dados coletados através do computador. Depois foi utilizado o LCD, o mesmo descrito no item 3.2, que também será utilizado no MB para uma visualização quantitativa da temperatura.

Baseado nos locais escolhidos para medição faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de proteção para o sensor, este deve ser cuidadosamente encapsulado (Figura 10). O encapsulamento é feito levando em consideração a liberdade na variação de temperatura necessária para medição, ou seja, deve-se utilizar materiais condutores para que estes não interfiram no processo de medição.

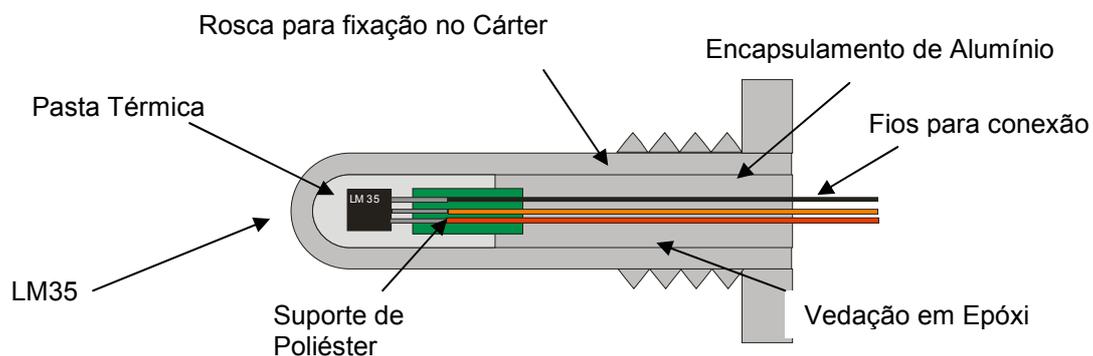


Figura 10 – Sistema de encapsulamento do sensor

Deste modo podemos observar o diagrama final para o sensoriamento de temperatura do MB (Figura 11).

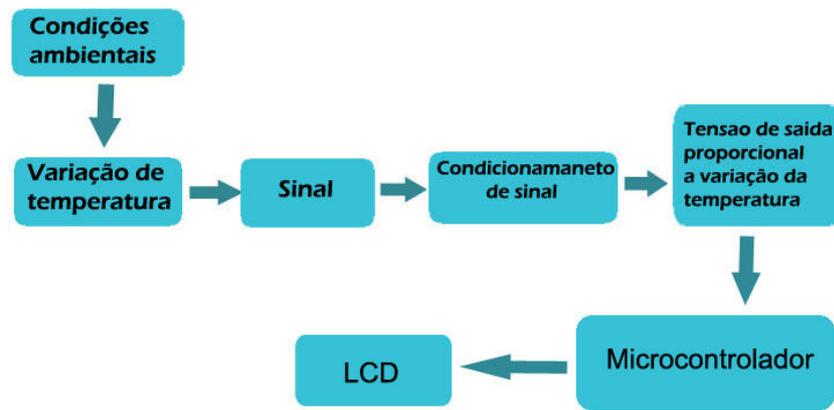


Figura 11 – Estrutura para medição de temperatura

4.5 Medidor de inclinação

A medição de inclinação é feita através de um sistema de acelerometria de forma que a aceleração gravitacional será referenciada como eixo central para os ajustes de inclinação do MB. O sensor utilizado foi o ADXL 202. Este sensor (Figura 12) é um componente de dimensões pequenas 5mm x 5mm x 2mm, um acelerômetro completo de dois eixos que mede acelerações entre $-2G$ e $+2G^2$. Podem-se medir acelerações dinâmicas (vibrações) e acelerações estáticas (gravidade). O componente opera numa faixa de temperatura entre $-55^{\circ}C$ e $125^{\circ}C$, Analog Devices (2005).



Figura 12 – Vista (ampliada) do acelerômetro em três dimensões.

Este sensor medirá as grandezas e enviará para o painel através do microcontrolador o valor em graus da inclinação do carro. No caso da inclinação será exibido de forma numérica no display LCD.

Uma placa com o acelerômetro, será fixada no chassi do MB, mais especificamente no seu centro de massa. Esta placa contém, além do ADXL202, outros componentes que formam o circuito responsável pela medição de inclinação.

Para que o acelerômetro indique os verdadeiros valores se fez necessário uma calibração. Inicialmente ajustou-se o ganho do INA101 para $2,5 V^3$, de modo que se tivesse os sinais de saída do acelerômetro entre 0 e 2,5 V, correspondendo de -90° a 90° , respectivamente. Estabeleceu-se esse intervalo, pois é suficiente para a aplicação, onde fora do mesmo o MB possivelmente estará com quatro pneus voltados para cima.

Para que os sinais de saída correspondessem aos ângulos desejados, foi utilizada uma plataforma de testes (Figura 13). Esta plataforma é composta por uma base de apoio; uma

² “G” É a aceleração da gravidade, aproximadamente igual a $9,81 m/s^2$.

³ Isso foi feito utilizando a equação (2.5), onde encontrou-se um valor para o resistor R_G de $3,9 K\Omega$.

régua, onde foi fixada a placa com o ADXL 202, e um transferidor para ajuste dos ângulos. Então para 0° (quando a régua indicou 0° no transferidor) ajustou-se o sinal de saída, utilizando o *trimpot*, para 1,25 V. Dessa maneira variou-se a posição da régua em intervalos de 5° , inicialmente de 0° a 90° e depois de 0° a -90° , e utilizando um multímetro anotou-se o sinal correspondente de saída. Com esses valores construiu-se uma tabela onde uma coluna é composta com os ângulos, -90° a 90° , e a outra com os sinais de tensão correspondentes da saída do ADXL 202. Como se pode observar a inclinação do MB pode ser tanto no eixo X como no eixo Y (considerando um sistema cartesiano onde X é horizontal e Y vertical).

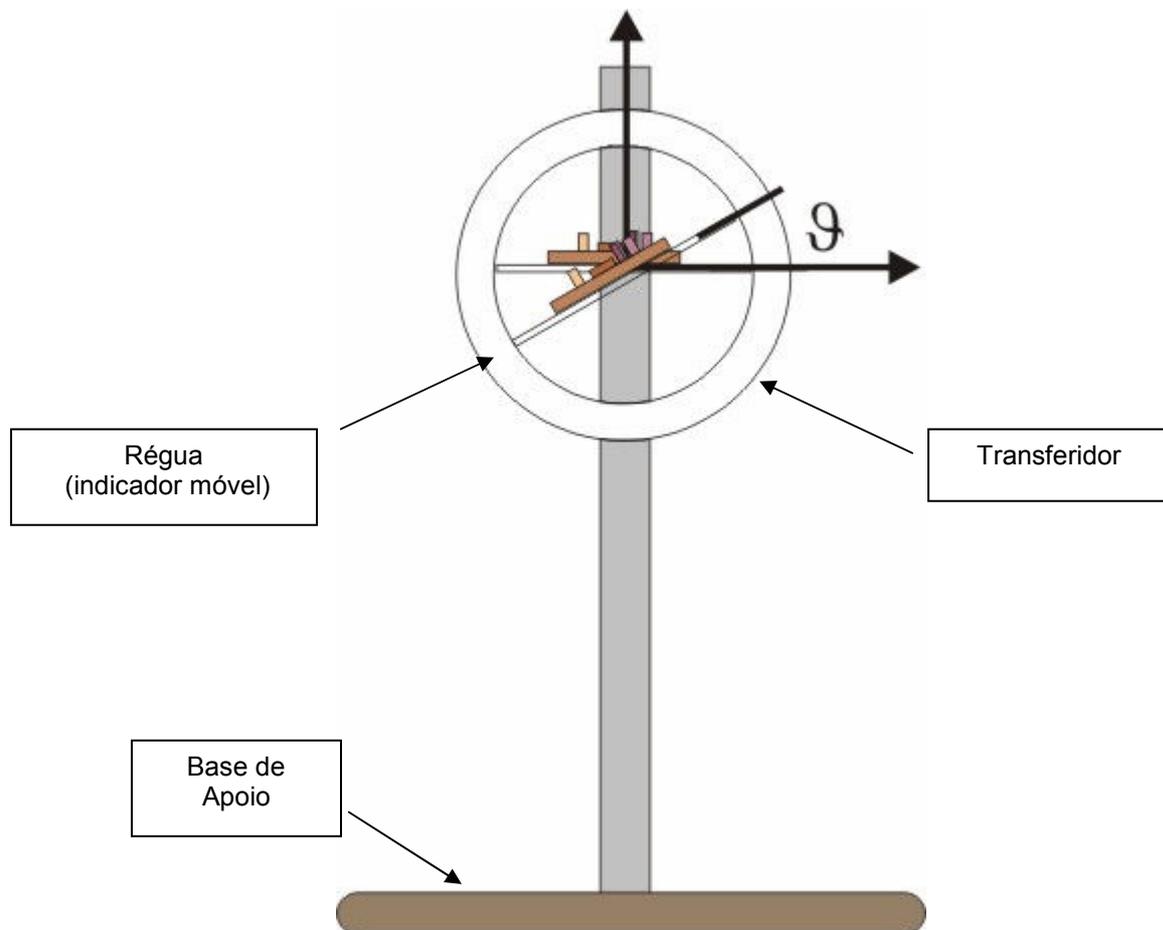


Figura 13 – Plataforma de testes do acelerômetro, ADXL 202.

O trecho do algoritmo utilizado para o cálculo da inclinação é apresentado a seguir.

```
tensao_adc = (somatorio/16)*0.00061035;
y=((1.25-tensao_adc)/1.09);
b=asin(y);
teta=180*b/3.141592654;
printf("Valor de Teta em graus = %f\n",teta);
```

A expressão $y=((1.25-tensao_adc)/1.09)$, descreve a função da tensão de saída do ADXL 202. De posse da tabela, foi plotado um gráfico (Figura 14), ponto a ponto, dos valores de tensão e inclinação. Esse gráfico foi aproximado por uma senóide, daí que surge a expressão $b=asin(y)$, ou seja, a variável b armazenará o valor em radianos da inclinação. A variável $teta$ converte o valor de b para graus.

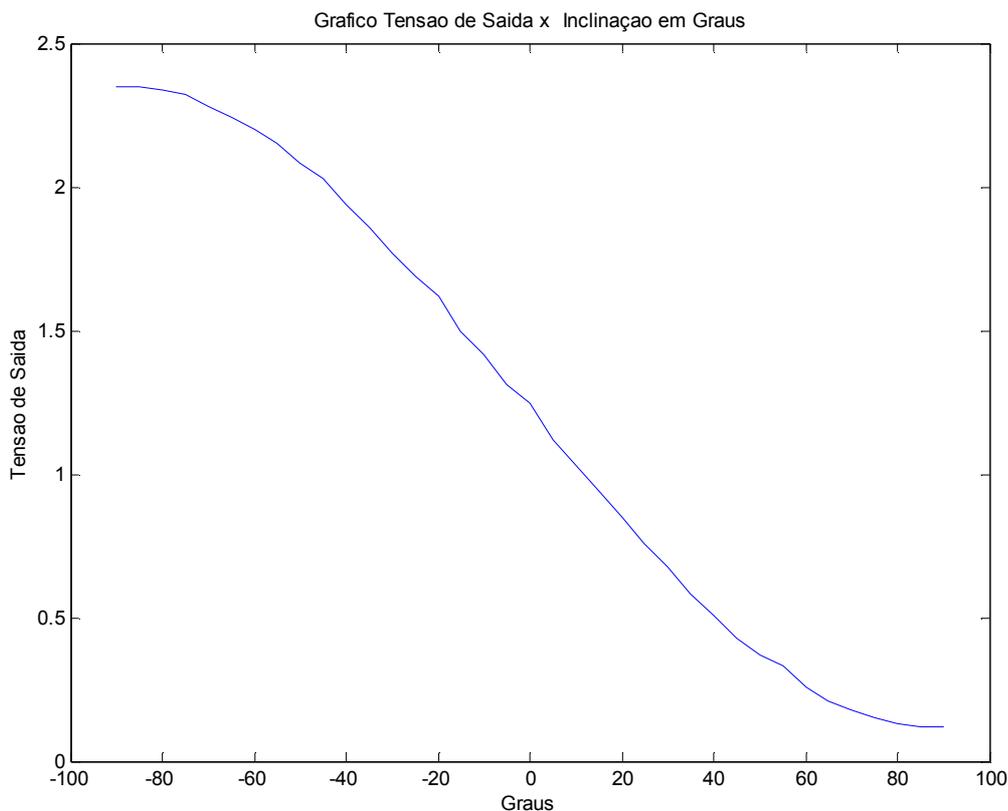


Figura 14– Gráfico da tensão de saída do acelerômetro x inclinação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos e os trabalhos até agora concluídos, a equipe de instrumentação do Paraibaja encontra-se satisfeita com os objetivos cumpridos. Entretanto algumas considerações podem ser feitas a respeito das atividades até então realizadas.

Primeiramente a equipe aprendeu a trabalhar com microcontroladores de forma geral, uma ferramenta de grande utilidade e de inúmeras aplicações, sendo assim um primeiro passo importantíssimo não só para aplicação do MB, como também para o curso de Engenharia Elétrica.

Um primeiro trabalho proposto foi a implementação de um termômetro, o qual seria o medidor de temperatura do MB. A dificuldade apresentada nesta tarefa foi a impressão da temperatura no LCD, dentre elas pode-se citar: pinagem e funções utilizadas na programação.

Uma inovação no MB 2006 em relação ao MB 2003 será a utilização do ADXL 202 para medição de inclinação, como já foi relatado, um circuito já foi confeccionado em uma placa (que possivelmente será utilizada no MB), sendo este responsável pela medição dessa grandeza (inclinação). As calibrações foram feitas, porém, alguns erros foram relatados nos testes. Na utilização da plataforma de testes, utilizando o transferidor, com auxílio do Hiper Terminal, valores entre -75° e -90° , 75° e 90° , apresentaram valores incoerentes. Dois motivos foram discutidos para os erros obtidos: o primeiro foi a aproximação do gráfico por uma senoide entre os sinais de tensões e o ângulo de inclinação; o segundo a imprecisão do multímetro utilizado, onde, como trabalhou-se com pequenas variações de tensão seria interessante utilizar um multímetro mais preciso.

De um modo geral, os objetivos estão sendo cumpridos dentro do prazo esperado e as atividades realizadas foram condizentes com a proposta estabelecida pelo projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, T, V, G, P. **Painel de Instrumentos do Paraibaja**. 2003. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ANALOG DEVICES. **AduC812 MicroConverter, Multichannel 12-bit ADC with Embedded Flash MCU**, 2005.

OPTREX CORPORATION. **Dot Matrix Character LCD Module User's Manual**, 2000.

BURR - BROWN. **INA 101 – High Accuracy Instrumentation Amplifier**, 2005.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM 35 – Precision Centigrade Temperature Sensors**, 2005.

SMITH, K. C. e SEDRA, A. S. **Microeletrônica** Ed. MAKRON BOOKS, 1999.

ANALOG DEVICES. **ADXL-202E, Dual-Axis Accelerometer with Duty Cycle Output**, 2005

DEVELOPMENT OF A MEASUREMENT PLATFORM OF INCLINATION AND TEMPERATURE FOR PARAIBAJA 2006

Abstract: This article describes a platform of inclination measurement and temperature that was developed with an activity of engineer project for the Course of Graduation in Electrical Engineer (Federal University of Campina Grande). This platform is a part of electronic instrumentation system of an experimental vehicle call as Paraibaja that was developed with activity of an engineer project, as well, for the Course of Graduation in Mechanic Engineer for participation in the Mini Baja project. This project is a competition that involves students of universities with the objective to build an off-road vehicle. The development platform is an embedded system that has the aim to get better the acting of the Paraibaja during the competition.

Key-words: Microcontroller, Accelerometer, Temperature.