DANIEL FRANKLIN CALASSO

SIMULADOR DO MARCADOR DE NÍVEL DE COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO

São Paulo

2009

DANIEL FRANKLIN CALASSO

SIMULADOR DO MARCADOR DE NÍVEL DE COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Dr. Antonio Carlos Canale

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Calasso, Daniel Franklin
Simulador do marcador de combustível automotivo/ Daniel Franklin Calasso – São Paulo, 2009.
87p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva.

1. Controle 2. Simulação Computacional 3. Medidor de Combustível 4. Conversor AD 5. Interpolação Linear. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica Departamento de Engenharia Mecânica. Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva II. t.

À minha família e noiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Antonio Carlos Canale, que compartilhou seu conhecimento e orientação durante a execução desse trabalho.

Aos colegas Luiz Mirandola, Engenheiro da Contiental®, o qual ajudou no desenvolvimento da DLL utilizada para a simulação em MATLAB®; Egisto Capucci, Engenheiro da Continental, explicando o funcionamento dos marcadores antigos; Victor Hirata, Engenheiro de Validação da GM, que foi o responsável pela execução dos testes em veículos; Luiz C. P. Corato, Gerente de Engenharia da GM, cujo ajudou na escolha do tema de estudo no início do curso e a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, tia e avó pelo eterno apoio e amor em todos os momentos (fáceis e difíceis) de minha vida e a minha noiva a qual me incentivou muito, abriu mão de minha companhia em determinados momentos para que eu pudesse me empenhar nesse trabalho e pelo seu eterno amor

Aos meus amigos da 7ª turma de Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva, pela paciência e amizade durante os 2 anos de curso.

RESUMO

A utilização de simuladores virtuais tem se tornado cada vez mais comum no estudo e desenvolvimento de veículos, de forma que o tempo de análise passa a ser reduzido, bem como a precisão de resposta ao dado problema torna-se maior.

Neste mesmo conceito, este trabalho aborda o desenvolvimento de um simulador virtual, para o marcador de combustível automotivo, com o intuído de agilizar o desenvolvimento e análise da calibração do deslocamento do ponteiro marcador de combustível de um automóvel.

Um dos grandes problemas que enfrentamos é o tempo necessário (considerado excessivo) para o desenvolvimento da curva de calibração, já que inúmeros testes empíricos devem ser realizados, acarretando em altos custos (uso de litros de combustível). O tempo salvo pode ser dedicado à outra atividade crítica para o programa específico.

O simulador foi totalmente desenvolvido sob a plataforma Matlab®, devido a sua flexibilidade e poderoso processamento de dados em grande quantidade.

ABSTRACT

Virtual simulation has become an important tool in vehicle studying and development, due its abilities in reducing project time, saving cost and increasing accuracy.

Currently we face an important problem: the substantial time consumption to develop and set a calibration of automotive fuel gauge indicator, along with total cost of the process (fuel, controls, revision, rework and so on). The main reason is extensiveness of empirical test that must be performed to precision assurance.

Aiming that scenario, this paper propose the development of a Virtual Simulator that allows to perform almost all the tests in a computer-based workbench, reducing efforts and cost and, at same time, improving results. Saved time. Efforts and money could be applied in solving other project critical issues.

The Virtual Simulator project here in was completely developed in a MATLAB® platform, due to its great flexibility and capacity to process huge amount of data.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 15

1.1 OBJETIVOS 15

1.2 JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÕES 15

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 18

2 REVISÃO LITERÁRIA 19

2.1 MARCADORES DE NÍVEL DE COMBUSTÍVEL 22

2.2 MARCADORES DE NÍVEL DE COMBUSTÍVEL ELETRÔNICO 28

2.3 TANQUES DE COMBUSTÍVEL 31

2.4 SENSOR/MEDIDOR DE NÍVEL 38

2.5 PAINEL DE INSTRUMENTOS 43

3 METODOLOGIA 44

3.1 MAPEAMENTO DO SENSOR DE NÍVEL E TENSÃO DA BATERIA 46

3.2 PONTOS DE CALIBRAÇÃO 51

3.2.1 Determinação dos Pontos de Calibração 55

3.3 FUNCIONAMENTO DO MARCADOR DE COMBUSTÍVEL 60

4 TESTES E RESULTADOS 64

5 CONCLUSÕES 72

6 PROPOSTAS FUTURAS 74

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS 76

ANEXO I 78

I.1 “A UNIVERSAL AND COST-EFFECTIVE FUEL GAUGE SENSOR BASED ON WAVE PROPAGATION EFFECTS IN SOLID METAL RODS” (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. E HEIMTZ, F.). 78
I.2 FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE COMBUSTÍVEL EM AERONAVES. 83

TABELA DE SÍMBOLOS

I – Força de Impulsão.

V – Volume do Corpo Imerso.

ρ – Densidade ou Massa Específica do fluido.

g – Aceleração da Gravidade.

τ – Tempo em segundos.

R – Resistência em Ohms.

C – Capacitância em Farads.

ABREVIATURAS E SIGLAS

QAS: *Quality Audit Survey*.

ADC: *Analog to Digital Converter.*

FAST: *Function Analysis System Technique.*

A/D: *Analog to Digital.*

PEAD: Poliuretano de Alta Densidade.

DLL: *Dynamic-link Library* (Biblioteca de vínculo dinâmico).

MS-DOS: *Microsoft® Disk Operating System.*

EEPROM: *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*.

ECU: *Engine Control Unit* – Módulo de Controle do Motor (Injeção).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto Medidor. 19

Figura 2 - Indicador de Nível. 20

Figura 3 - Diagrama FAST (ZORZETO Jr., E. V.; HAUSCH, E.; DOMINGUES, F.; POGGETTO, G.; ROSA, L.; BARBOSA, M., 2007). 21

Figura 4 - Evolução dos Marcadores ao longo dos anos. 22

Figura 5 - Comportamento da lâmina bi metálica com o tanque Vazio e baixa corrente (esq.) e com o tanque Cheio e alta corrente (dir). 23

Figura 6 - Esquema elétrico de funcionamento do marcador de combustível com regulador de tensão, esquerda (*Engine Mechanics,* 2009). 24

Figura 7 - Esquema elétrico de funcionamento de um marcador de combustível termo estático diferencial (*Engine Mechanics,* 2009). 25

Figura 8 - Esquema elétrico do marcador de combustível eletromagnético (*Engine Mechanics,* 2009). 26

Figura 9 - Marcadores de nível de combustível. 27

Figura 10 - Sistema de Medição do Nível de Combustível. 28

Figura 11 - Diagrama em blocos do marcador de combustível. 29

Figura 12 - Diagrama de Blocos segundo MARTINEC, R. [9]. 30

Figura 13 - Principais funções do Sistema de Combustível [1]. 32

Figura 14 - Tanque metálico do Ford Ka. 33

Figura 15 - Exemplos de Tanques com geometria complexa [3] [17]. 33

Figura 16 - Bolsão de combustível devido à geometria complexa. 34

Figura 17 - Instalação não recomendada do sensor de nível. 35

Figura 18 - Indicação equivocada devido à instalação da bóia próxima as extremidades. 36
Figura 19 - Modelamento matemático do sistema de suspensão de um veículo com barra estabilizadora. Em “Y” existe efeito *roll* (rotação no eixo Y) e em “X” existe efeito *pitch* (rotação no eixo X). 36
Figura 20 - Instalação recomendada do sensor de nível. 37
Figura 21 - Foto de um tanque cortado da BMW [6]. 37
Figura 22 - Fio/Filme resistivo (esquerda), e haste plástica e contato deslizante (direita). 39
Figura 23 - Deslocamento do Sensor de Nível. 39
Figura 24 - Forças exercidas sobre a bóia. 41
Figura 25 - Diferenças entre bóias de geometria diferentes e com profundidade baixa e grande. 42
Figura 26 - Rebaixo feito para aproximar o Ponto de Equilíbrio ao fundo do Tanque. 43
Figura 27 - Programação utilizando o “M File” do Matlab®. 45
Figura 28 - Explicação dos parâmetros necessários para a execução da Função de Marcação do Nível de Combustível. 46
Figura 29 - Dispositivo construído para realizar a comunicação entre PC e o Veículo estudado 47
Figura 30 - Parâmetros necessários para a comunicação. 48
Figura 31 - Escolha do arquivo “INI” para realizar a comunicação entre PC e Painel de Instrumentos. 48
Figura 32 - Exemplo do registro gerado visualizado no Microsoft Excel®. 49
Figura 33 - Movimentação do sensor de nível dentro do tanque de combustível 50

Figura 34 - Entrada do micro controlador. 52
Figura 35 - Interpolação dos pontos principais em hexadecimal. 53
Figura 36 - Curva de histerese para ligar ou apagar a luz da reserva. 54
Figura 37 - Equipamento “Tech 1” desenvolvido pela Vetronix© [14]. 57
Figura 38 - Planilha de teste do Marcador de Combustível. 57
Figura 39 - Não Aprovado (Esq.) vs. Aprovado (Dir.). 59
Figura 40 - Conjunto de suspensão e amortecedor traseiro de um veículo. 60
Figura 41 - Localização do valor AD convertido pelo micro controlador. 61
Figura 42 - Inicializado com a resistência do sensor de 38Ω (tanque cheio), em seguida este valor foi alterado para 283Ω (tanque vazio). 62
Figura 43 - Diagrama do Simulador. 64
Figura 44 - Tensão da Bateria (Verde) x Resistência (Amarelo) x Consumo Instantâneo Real (Bege) e com Atraso (Marrom). 65
Figura 45 - Simulação da rodagem Virtual (Azul) vs. Real (Verde). 66
Figura 46 - Gráfico do erro entre Virtual vs. Real. 67
Figura 47 - Consumo vs. Posição da Bóia. 68
Figura 48 - Consumido [L] x Indicação de Nível [%]. 69
Figura 49 - Marcação do Nível de Combustível utilizando o módulo eletrônico de controle do motor (ECU – *Engine Control Unit*). 74
Figura 50 - Diagrama do eco do som sem guia de som (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 80
Figura 51 - Diagrama do eco do som com um guia de som (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 80
Figura 52 - Propagação dom som através de uma haste metálica em forma de U (esquerda) e I (direita) (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). ... 81

Figura 53 - Excitação através de um material piezo elétrico (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).....82
Figura 54 - Monitoramento do nível do tanque com um sensor em formato U (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 82
Figura 55 - Variação na fase do sinal emitido (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 83
Figura 56 - Variação da fase do sinal conforme a quantidade de líquido presente no tanque (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 83
Figura 57 - Instalação da Sonda em uma aeronave (GAVEL, H.).....84
Figura 58 - Capacitância em função do nível de combustível (GAVEL, H.). 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de Resistência (Ω) x Altura (mm) do sensor da Figura 23. 40

Tabela 2 - Resistência (Ω) da Tabela 2.1 convertida para decimal e hexadecimal...52

Tabela 3 - “Template” utilizado.....55

Tabela 4 - Resistência x Litros Removidos. 56

Tabela 5 - Pontos determinados através da galonagem. 56

Tabela 6 - Marcação vs. Consumido.....70

Tabela 7 - Comprimento de onda λ, impedância da onda Z e a velocidade do som cb em uma lamina plana em diversos materiais com espessura de 1,5mm a uma freqüência de f=26Hz (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.). 81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Desenvolver um simulador virtual do marcador de combustível que represente de forma fiel o funcionamento em veículo auxiliando a determinação dos melhores pontos de interpolação da curva do marcador e diminuir o tempo necessário de validação no Campo de Provas.

Os resultados esperados são:

- Gráfico do comportamento do marcador de combustível virtual (Marcação x Litros Consumidos).
- Fácil identificação da Região com o comportamento fora do esperado.
- Determinação dos pontos de calibração.

1.2 Justificativas e Motivações

O desenvolvimento dessa dissertação foi motivado pela dificuldade da determinação da curva de interpolação e virtude de: longo tempo de testes (cerca de 1 mês), os testes são realizados empiricamente podendo levar a conclusões divergentes quando executado por diferentes avaliadores (subjetividade) e pelas crescentes reclamações dos usuários quanto a real marcação de nível de combustível em situações comuns ou quando o mesmo realiza a estimativa de consumo do veículo (Km/L).

Algumas das reclamações obtidas podem ser evidenciadas abaixo:

“NO MOSTRADOR DO NIVEL DE COMBUSTIVEL, PARECE QUE A PRIMEIRA METADE DO TANQUE GASTA MAIS RAPIDO QUE A SEGUNDA, PARECE QUE NAO ESTA SINCRONIZADO COM O QUE DE FATO TEM DE COMBUSTIVEL NO TANQUE. PERCEBI PORQUE NA PRIMEIRA METADE DO TANQUE EU RODO 100 KM E NA SEGUNDA, EU CONSIGO RODAR 200 KM ATE A RESERVA. OCORRE UTILIZANDO ALCOOL. ABASTECO SEMPRE NO MESMO LOCAL.”

“O MARCADOR DE COMBUSTIVEL NAO E PRECISO, PERCEBI COM O ANDAMENTO DO VEICULO. ACONTECE COM O CONSUMO NO DIA-A-DIA, APRESENTA PROBLEMA DE CONTROLE. QUANDO O RELOGIO MARCA O MEIO TANQUE ELE NAO ESTA NO MEIO TANQUE, PORQUE NAO CONSIGO RODAR A MESMA QUANTIDADE DE KM ATE O FINAL DO MESMO TANQUE OU PROXIMO.”

Acima se evidencia a falta de linearidade na marcação, pois se o carro tem uma autonomia de 300 km, por exemplo, quando o marcador atingir ½ tanque o usuário deveria ter percorrido cerca de 150 km.

“ABASTECI QUANDO COMPREI O CARRO E ANDEI 50 KM EM UM DIA, NOS 50 KM O PONTEIRO NAO SE DESLOCOU DA POSICAO CHEIO. NO DIA SEGUINTE, APOS 10 OU 15 KM, ELE SE DESLOCOU PARA A POSICAO DE 3/4 DE COMBUSTIVEL. ISSO SEMPRE ACONTECE, OCORRE TODA A VEZ QUE ABASTECE ELE. ELES SE DESLOCAVA, RODANDO EM ESTRADA, APOS 70 KM RODADOS. PERCEBO ISSO COM O ALCOOL.”

O problema relatado pelos usuários que julgam estranho o comportamento do ponteiro em situações comuns como: leve inclinações, curvas bruscas e outras. Isso

faz com que o usuário retorne à concessionária reclamando da marcação imprecisa. A concessionária, mesmo identificando que o problema não está relacionado a alguma peça falhada, realiza a troca de componentes com o intuito de “iludir” o usuário de que a causa raiz do problema foi identificado e solucionado. Na maioria dos casos o usuário acaba voltando à concessionária com a mesma reclamação e o o mesmo procedimento é tomado, porem substituindo outra peça do sistema.

Ao receber um número considerável de reclamações, uma análise é feita na tentativa de encontrar a causa raiz, determinando se o problema está na calibração, se existe algum problema com o sensor de nível ou próximo a ele, que possa levar a uma marcação errônea.

Se constatado que o problema está na calibração, inicia-se o trabalho de Engenharia para desenvolver uma nova calibração (processo de determinação será detalhado no Capítulo 4.2) com a ajuda do Campo de Provas. O tempo necessário para esse desenvolvimento é de aproximadamente 1 mês, variando conforme a assertividade nos testes. Com o simulador proposto espera-se que o tempo para uma validação reduza significativamente, pois será possível visualizar virtualmente como será o comportamento do marcador de combustível antes de executar os testes em veículo e realizando apenas uma confirmação do virtual no real.

1.3 Organização da Dissertação

Está dissertação é organizada da seguinte maneira:

O Capítulo 2 aborda: os tipos de marcadores de combustível já utilizados pelas Montadoras até a utilização do micro controlador; trata da construção do tanque de combustível e as melhores praticas para minimizar variações bruscas causada por imperfeições da pista; funcionamento e construção do marcador de nível de combustível e a função do painel de instrumentos no veículo.

O Capítulo 3 explica a metodologia utilizada na execução do projeto definido nesta dissertação, explicando detalhadamente o funcionamento do algoritmo do marcador de combustível (Pontos da Curva de Calibração), como as variáveis de entrada podem influenciar diretamente na marcação e qual o procedimento utilizado para coleta dos dados necessários para o desenvolvimento do simulador.

O Capítulo 4 reflete como foi feita a validação do simulador (Real vs. Virtual), os dados de saídas obtidos com o simulador e como esses dados podem ajudar o operador a definir se a calibração determinada realmente está dentro do esperado e a conclusão do trabalho realizado.

No Capítulo 5 existem sugestões de trabalhos futuros baseados nos resultados obtidos e tecnologias que estão em estudos.

2 REVISÃO LITERÁRIA

O Medidor de Combustível, Figura 1, é um dos componentes mais antigos, desenvolvido para o carro, composto basicamente, por apenas dois conjuntos: sensor e indicador de nível.

O sensor é formado pelos seguintes componentes:

- Bóia: feita em material plástico, faz com que a mesma flutue em contato com o combustível utilizado, devido a sua menor densidade.
- Potenciômetro: uma resistência elétrica (feita com filme ou fio resistivo enrolado), que possui um contato deslizante sobre a mesma, a fim de indicar a quantidade de combustível restante no tanque.
- Haste metálica: feita em aço, com a função de transferir o movimento da bóia para o contato deslizante do potenciômetro, conforme a movimentação da bóia vs. quantidade de combustível presente.

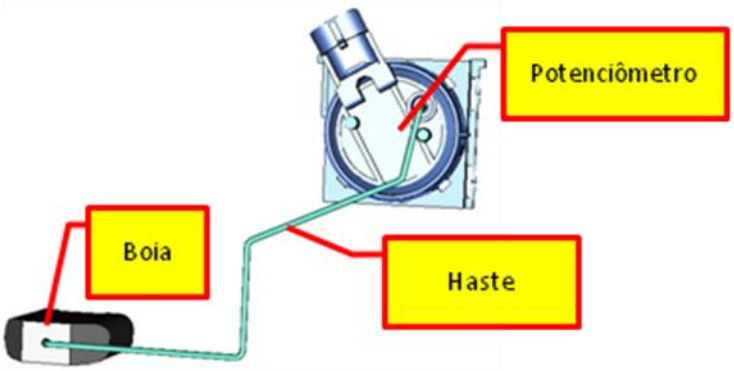

Figura 1 - Conjunto Medidor.

O indicador de nível, como o próprio nome diz, é responsável pela indicação da quantidade de combustível existente no tanque, ao motorista (Figura 2). Este conjunto é composto por:

- Escala: marcações que permitem comparações de nível de combustível presente no tanque, com os seguintes pontos notáveis: cheio, ¾, ½, ¼ e vazio.
- Ponteiro: baseado no volume de combustível restante há o deslocamento da haste indicativa sobre a escala, proporcionalmente ao valor da resistência enviada pelo medidor.

Figura 2 - Indicador de Nível.

O funcionamento do Medidor é muito simples: dado um volume V de combustível, a bóia deslocará a uma altura h. Devido a este deslocamento, o contato deslizante sobre a resistência também se moverá (potenciômetro), resultando em outro valor de resistência, R(h). De acordo com o valor de R(h) haverá uma movimentação proporcional do ponteiro, sobre a escala indicativa.

Vale ressaltar que o valor da resistência está dentro de um intervalo de máximo e mínimo, especificado em Desenho, sendo que quanto menor a resistência, maior a quantidade de combustível e quanto maior a resistência, menor a quantidade de combustível.

A função básica do Marcador de Combustível é indicar valor (nível de combustível), definido por ZORZETO Jr., E. V.; HAUSCH, E.; DOMINGUES, F.; POGGETTO, G.; ROSA, L.; BARBOSA, M. (2007) - conforme ilustrado no Diagrama FAST, Figura 3 (“*Function Analysis System Technique”*).

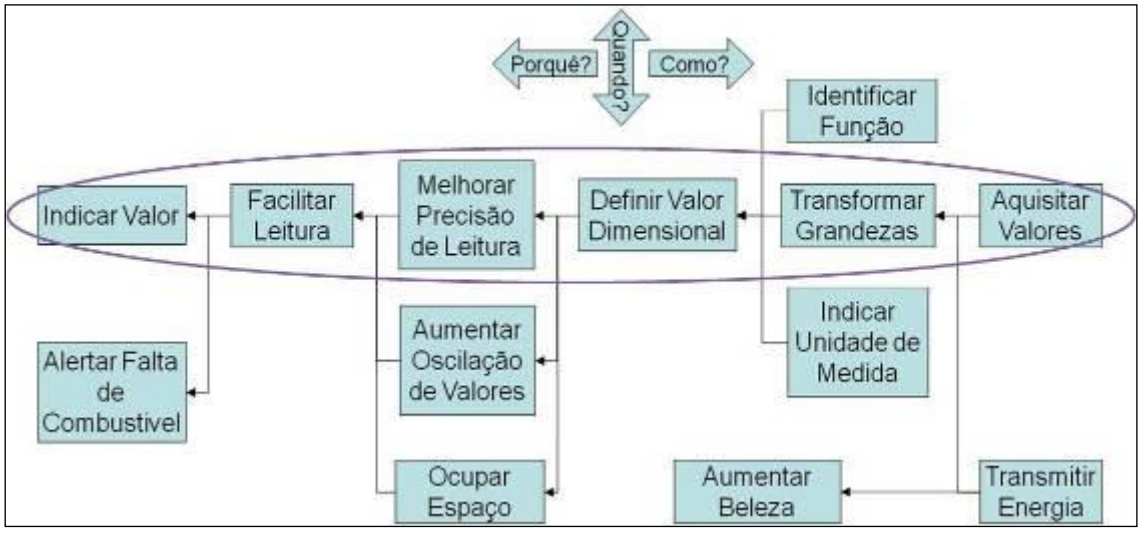

Figura 3 - Diagrama FAST (ZORZETO Jr., E. V.; HAUSCH, E.; DOMINGUES, F.; POGGETTO, G.; ROSA, L.; BARBOSA, M., 2007).

O início do processo de indicação do valor começa com a aquisição de valores (resistência instantânea da bóia), transformando em uma grandeza para que seja mensurável (Ohm, Ω). Através de sistemas eletrônicos é possível melhorar a precisão do valor mensurado e assim é possível através de um algoritmo facilitar a leitura ao cliente que terá uma indicação mais precisa e de fácil identificação das áreas criticas.

2.1 Marcadores de Nível de Combustível

Neste capítulo será abordado um pouco da história dos marcadores de combustível que foram utilizados ao longo dos anos. A Figura 4 demonstra de forma simples a evolução da tecnologia utilizada na indicação da quantidade de combustível presente no tanque.

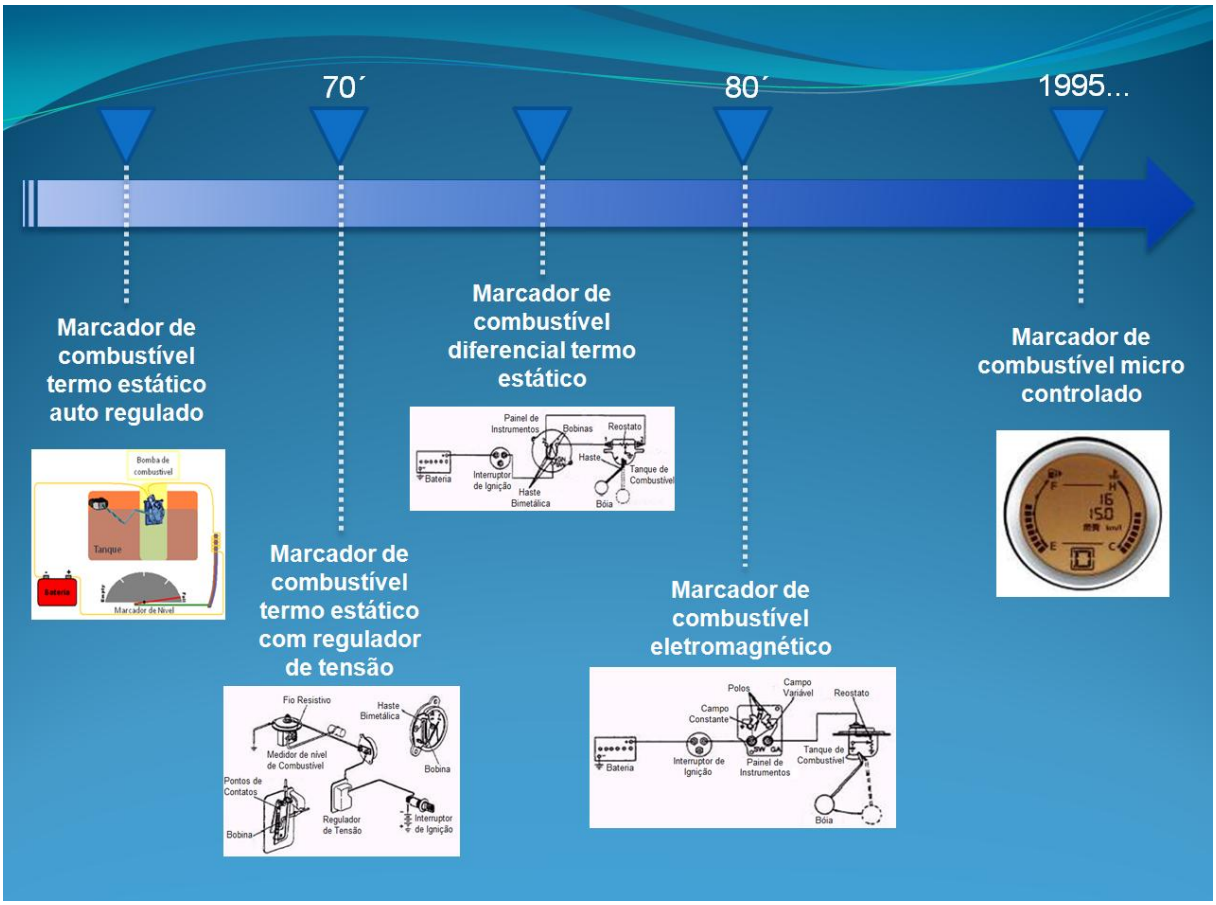

Figura 4 - Evolução dos Marcadores ao longo dos anos.

A) *Marcador de combustível termo estático auto regulado:* marcador feito com duas lâminas metálicas diferentes (bi metálico), envoltas por um fio de cobre formando uma bobina. Quando a corrente passa pela bobina, um campo eletromagnético é gerado aquecendo as lâminas, as quais possuem coeficientes de dilatação diferentes. Haverá, assim, uma inclinação lateral na

haste (quanto maior a corrente que passada através da bobina, maior será o campo eletromagnético, conseqüentemente, maior será o calor produzido, fazendo com que a haste se desloque mais).

Acoplado a um ponteiro, é possível exibir ao usuário o nível de combustível no tanque (Figura 5).

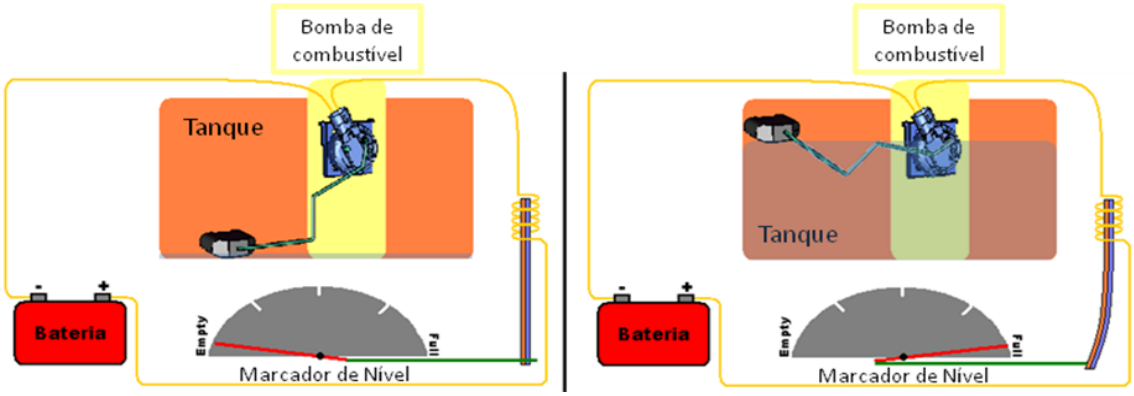

Figura 5 - Comportamento da lâmina bi metálica com o tanque Vazio e baixa corrente (esq.) e com o tanque Cheio e alta corrente (dir).

B) *Marcador de combustível termo estático com regulador de tensão:* o marcador de nível (mostrador) possui a mesma construção e funcionamento do marcador de combustível auto regulado (lamina bi metálica) diferindo apenas na maneira como o nível do combustível é medido. Utiliza um limitador de tensão para garantir um campo magnético constante, Figura 6.

A haste possui uma escova em sua extremidade, ligada a um fio resistivo enrolado, fechando o circuito elétrico. Dependendo do ponto onde a escova encosta, o valor da resistência varia, fazendo com que a corrente gerada varie em função da altura da bóia.

Veículos que utilizaram essa tecnologia:

- Chevrolet: Corsa (1994 – 2002),;

- Volkswagen: Gol, Voyage, Parati, Saveiro (1987 – 1996), Passat (1983 – 1984);

- Ford: Del Rey (1982 – 1990), Corcel (1983 – 1989);

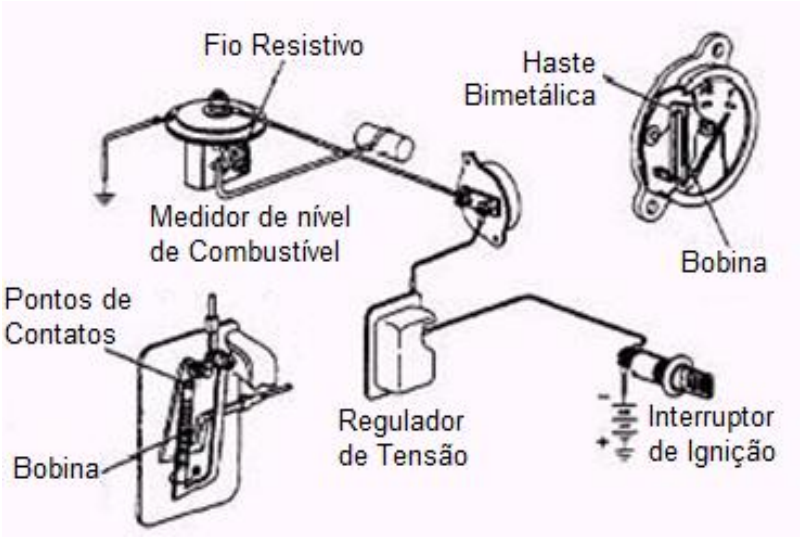

Figura 6 - Esquema elétrico de funcionamento do marcador de combustível com regulador de tensão, esquerda (*Engine Mechanics,* 2009).

C) *Marcador de combustível diferencial termo estático:* é muito similar aos marcadores mostrados anteriormente, entretanto, utiliza duas lâminas bi metálicas que controlam o ponteiro (resultado da divisão de tensão entre as duas lamina bi metálicas).

O sensor de nível é constituído de um resistor variável (reostato), onde cada uma de suas extremidades encontram-se conectadas a uma extremidade das lâminas. Com o movimento da bóia, a escova movimenta-se entre os

terminais da resistência, fazendo com que a tensão aplicada sobre cada lâmina seja diferente (divisão de tensão). Conseqüentemente, o calor gerado será diferente, resultando no movimento do ponteiro, Figura 7.

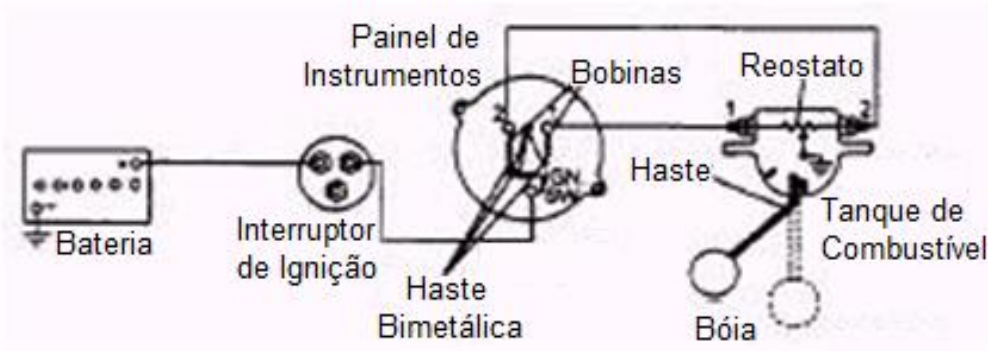

Figura 7 - Esquema elétrico de funcionamento de um marcador de combustível termo estático diferencial (*Engine Mechanics,* 2009).

D) *Marcador de combustível eletromagnético:* o ponteiro do marcador é montado sobre uma armadura que possui dois ou mais pólos, dependendo de sua construção. Seu movimento é controlado através do campo eletromagnético produzido por duas bobinas dispostas a 90º uma da outra. Uma bobina está ligada diretamente a bateria do veículo, criando um campo eletromagnético constante, a outra bobina está ligada diretamente ao potenciômetro, controlado pela altura h da bóia, gerando um campo eletromagnético variável.

   A combinação dos dois campos eletromagnéticos faz com que o ponteiro se desloque, proporcionalmente, indicando o nível do combustível presente no interior do tanque, Figura 8.

   Veículos que utilizaram essa tecnologia:

- Chevrolet: Kadett SL/GL (1994), Opala (1985-1987), Monza SLE/GLS/Classic (1985-1993);

- Volkswagen: Gol, Voyage álcool (1983);

- Fiat: Uno ELX / EP (1994 – 1998).

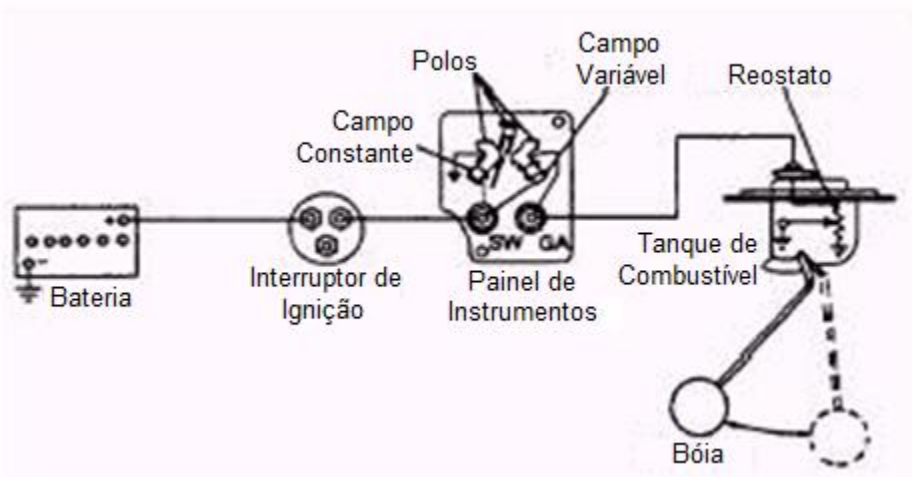

Figura 8 - Esquema elétrico do marcador de combustível eletromagnético (*Engine Mechanics,* 2009).

E) *Marcador de combustível micro controlado:* Com o avanço da eletrônica embarcada, os veículos passaram a fazer uso de micro controlador para movimentar o ponteiro do nível de combustível.

O medidor de combustível permanece com o mesmo princípio de funcionamento (reostato), todavia, o marcador de combustível passou a ser monitorado por um micro controlador, localizado dentro do painel de instrumentos (Figura 9), que possui a seguinte lógica de funcionamento: o valor da resistência instantânea é convertido, através do conversor de sinais analógicos em informações digitais (conversor A/D integrado ao micro controlador), que por sua vez, utiliza um algoritmo de conversão onde

identifica a quantidade de combustível existente no tanque e determina a posição que o ponteiro deve indicar. Vale ressaltar que a movimentação do ponteiro ocorre através de um motor de passo[1].

Todas as montadoras, hoje, já adotaram a eletrônica em seus painéis de instrumentos devido ao grande benefício que existe: aprimoramento da indicação e redução de custo devido à incorporação de funções e conseqüente redução de componentes em sua construção.

Com isso a diferença acabou ficando apenas na maneira de transmitir as informações ao usuário. Na Figura 9 temos alguns *designs* utilizados:

Figura 9 - Marcadores de nível de combustível.

[1] O motor de passo é um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo, onde passo é o menor deslocamento angular (http://recreio.gta.ufrj.br/grad/01_1/motor/).

2.2 Marcadores de Nível de Combustível Eletrônico

A utilização de micro controlador tornou-se inevitável devido ao rápido crescimento da eletrônica embarcada nos veículos, mesmo nos modelos populares, onde funções antes consideradas complexas, como informar com precisão o nível de combustível, passaram a ser executadas e com maiores possibilidades de melhorias e novas funcionalidades.

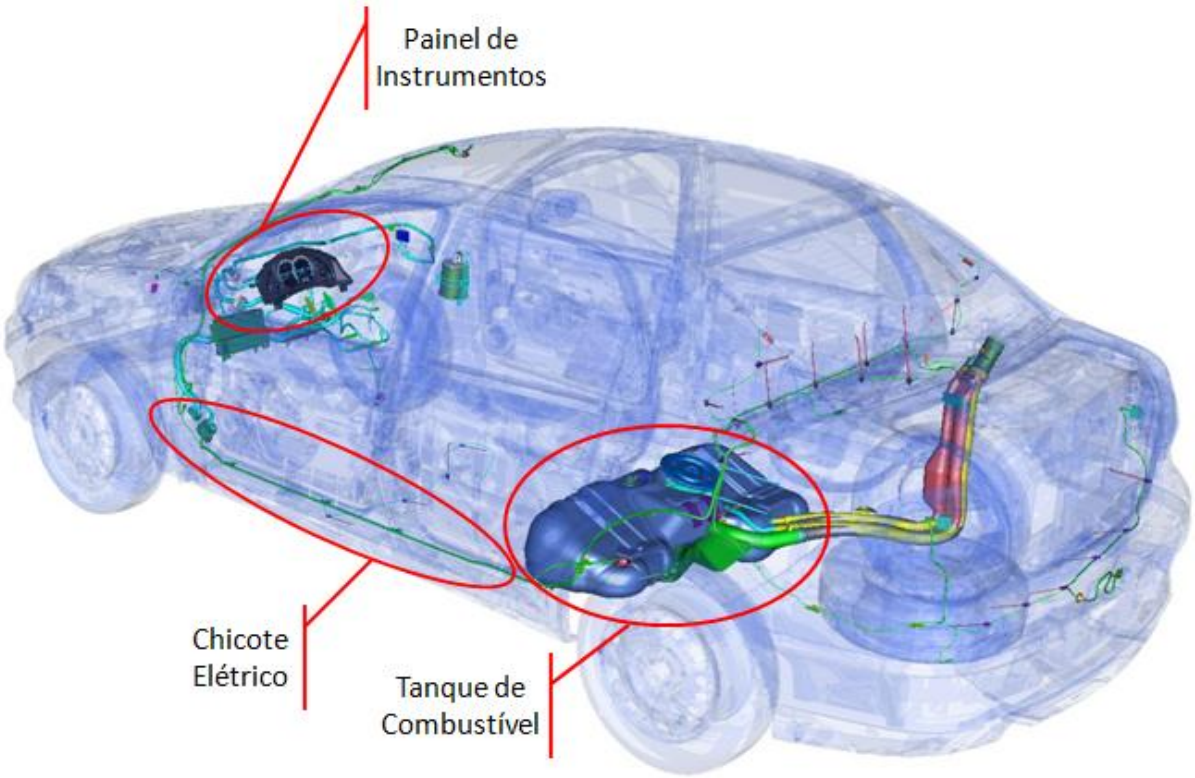

Figura 10 - Sistema de Medição do Nível de Combustível.

No caso do marcador de combustível, filtros digitais foram desenvolvidos para eliminar as bruscas variações vindas do sensor de nível no tanque de combustível, decorrente da dinâmica do veículo.

O sistema de marcador eletrônico, Figura 10, funciona da seguinte maneira: a altura da bóia varia conforme a quantidade de combustível presente no tanque, h(L),

fazendo com que a haste se movimente e conseqüentemente faça com que os contatos deslizem sobre o filme resistivo, variando a resistência do sensor, R(h). O valor da resistência é lida pelo micro controlador, que a converte para valores em hexadecimal (00h~FFh), ADC(Ω), o valor obtido da conversão é utilizado por um algoritmo que o transforma em um valor percentual da quantidade de combustível presente no tanque naquele instante, %(ADC). Com o valor da porcentagem, um segundo filtro é aplicado, responsável por induzir um amortecimento adequado ("*damping*") evitando assim movimentos bruscos do ponteiro do marcador. Como última etapa, após determinar o valor que o ponteiro deve indicar, é calculada a quantidade de pulsos que deve ser gerado para movimentar o ponteiro da posição atual para a nova calculada. A Figura 11 exemplifica todo este processo.

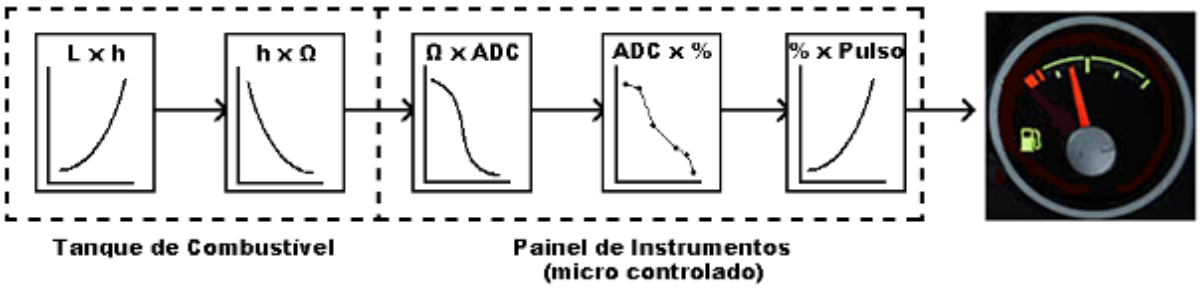

Figura 11 - Diagrama em blocos do marcador de combustível.

Segundo MARTINEC, RICHARD [9] o mesmo processo da Figura 11 foi aplicado em 1980 no desenvolvimento de um mostrador de combustível digital através de barras. Este marcador é mostrado na Figura 12.

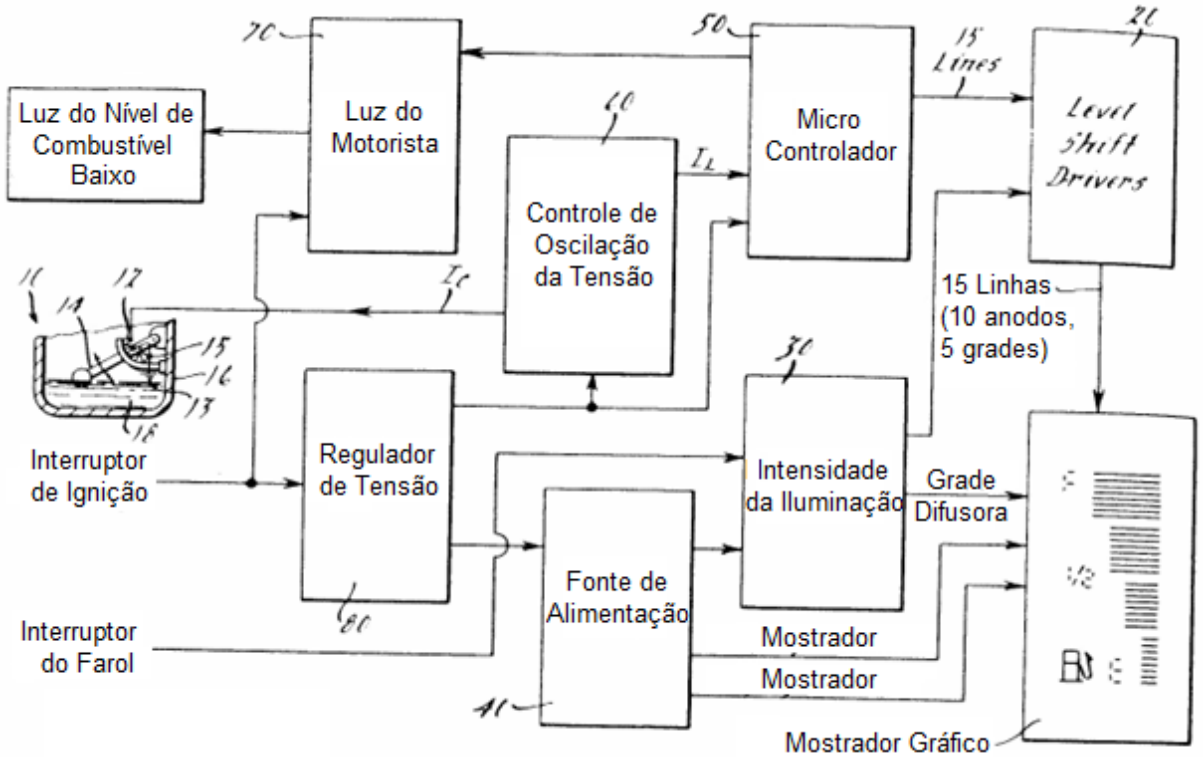

Figura 12 - Diagrama de Blocos segundo MARTINEC, R. [9].

O funcionamento do marcador de combustível eletrônico é mais bem entendido conhecendo-se a influência de cada um de seus, listados a seguir:

- Tanque de combustível;
- Sensor/Medidor de nível;
- Chicote elétrico;
- Painel de instrumentos.

O chicote elétrico pode influenciar na marcação mesmo que sua função seja apenas de transmitir ao painel de instrumentos o valor da resistência instantânea que o sensor de nível está indicando. Por ser feito de fios de cobre, apresenta uma resistência elétrica significativa para o sistema caso o seu tamanho seja longo. A resistividade do cobre é de $1{,}7 \times 10^{-8} \Omega.m$. Neste caso a resistência do cobre já foi

considerada quando realizado o monitoramento do sensor de nível, pois o equipamento está monitorando o valor exatamente na entra do micro controlador.

O Painel de Instrumentos possui a função de transmitir informações importantes do veículo ao usuário, como: velocidade, rotação, temperatura do motor, nível do óleo, estado do motor, quantidade de combustível presente no tanque entre outras.

Os painéis mais recentes são construídos utilizando micro controlador, neste caso ele é responsável por receber as informações do sensor de nível, codificar e tomar uma ação de movimentar ou não o ponteiro. Esse procedimento é válido para todas as funções em que o micro controlador recebe o sinal de um sensor ou módulo eletrônico.

Como o tanque de combustível e o sensor de nível fazem parte do mesmo sub-conjunto, serão descritos com mais detalhe no Capítulo 2.3.

2.3 Tanques de Combustível

Segundo SUZUKI, CARLOS [1], o tanque de combustível pode ser classificado em cinco funções, Figura 13:

- Abastecimento do tanque de combustível;
- Armazenagem do combustível;
- Medição ou indicação da quantidade de combustível;
- Ventilação do sistema e;
- Alimentação do motor.

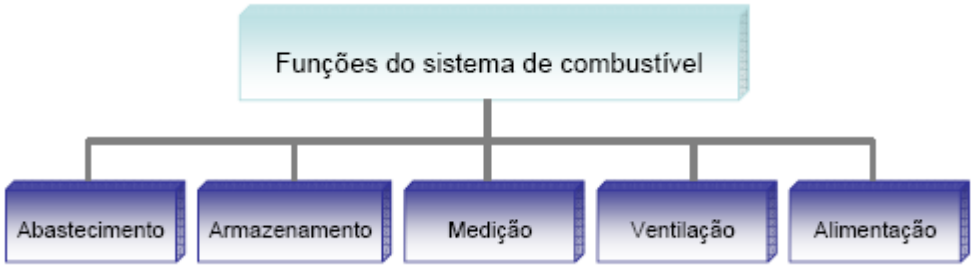

Figura 13 - Principais funções do Sistema de Combustível [1].

Neste estudo, pode-se dizer que as funções mais relevantes do tanque de combustível, são:

- Armazenagem do combustível: manter o combustível em um reservatório integrado ao veículo de forma segura sob qualquer movimentação do veículo e, principalmente, não permitir vazamentos sob qualquer forma de utilização.

- Medição ou indicação da quantidade de combustível: localizado dentro do tanque de combustível, o medidor, é responsável pela mensuração e indicação precisa da quantidade de fluído remanescente.

O reservatório de combustível (bolha) pode ser: metálico ou de plástico de alta densidade (PEAD), sendo que ambos possuem fatores positivos e negativos para a medição do nível de combustível.

No caso dos tanques metálicos, sua geometria “mais simples” (devido às limitações construtivas), melhora a marcação do nível de combustível restante, uma vez que evita a criação de bolsões, falseando a real marcação. Os tipos de aço geralmente utilizados são: aço doce ou de baixo carbono, devido a sua maleabilidade, baixo custo dentre outras vantagens. A Figura 14 é um exemplo de tanque metálico.

Figura 14 - Tanque metálico do Ford Ka.

O tanque feito de plástico possui flexibilidade superior, possibilitando a criação de formas, até então consideradas complexas, Figura 15; espaços antes não aproveitados passaram a ser utilizados, aumentando a capacidade volumétrica e conseqüentemente a autonomia do veículo; redução de até 30% do peso total do tanque, quando comparado ao metálico, ALVARADO [15].

Não somente melhorias foram obtidas com a troca do material, o marcador de combustível passou a enfrentar diversas dificuldades para determinar a real quantidade de combustível presente no tanque, devido às formas geométricas mais complexas.

Figura 15 - Exemplos de Tanques com geometria complexa [3] [17].

As principais dificuldades encontradas na medição nos tanques com formas complexas são:

- Criação de Bolsões de Combustível: O desenvolvimento de formas complexas pode resultar em bolsões de combustível, fazendo com que em determinadas situações o mesmo entre ou saia dessa região induzindo a falsa marcação do sensor de nível de combustível, este que por sua vez, transmitirá a falsa informação ao micro controlador, o qual movimentará o ponteiro de forma equivocada. Esta dificuldade pode ser facilmente exemplificada, conforme (Figura 16).

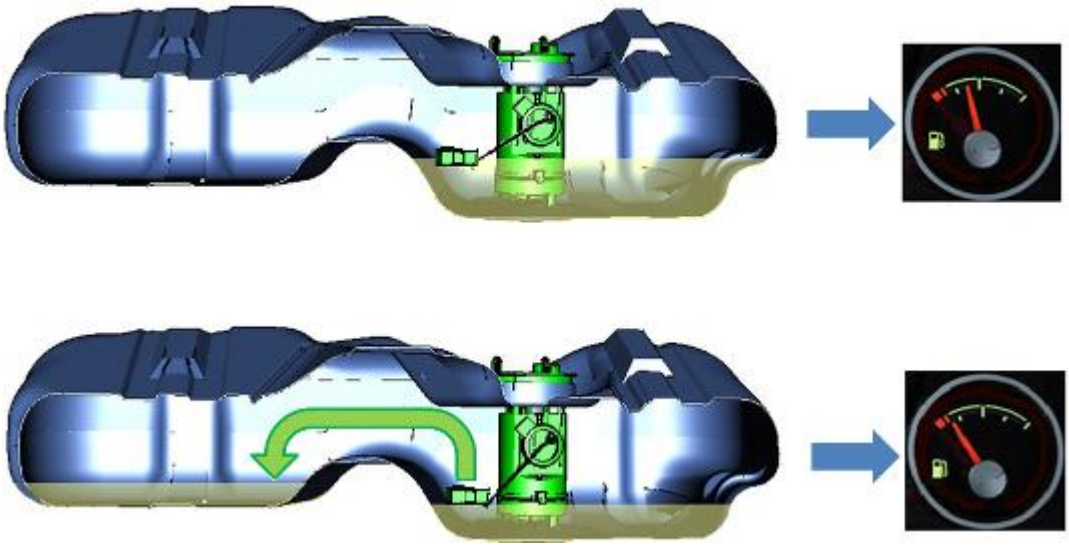

Figura 16 - Bolsão de combustível devido à geometria complexa.

- Posicionamento do sensor de nível: o local recomendado para posicionar o medidor é o centro geométrico do tanque de combustível, entretanto, devido às construções complexas, nem sempre o centro geométrico é a melhor opção.

  Existem situações em que no centro do tanque há uma elevação, fazendo com que o mesmo seja segmentado. Para esta divisão, o centro geométrico passa a ser um local não recomendado conforme (Figura 17).

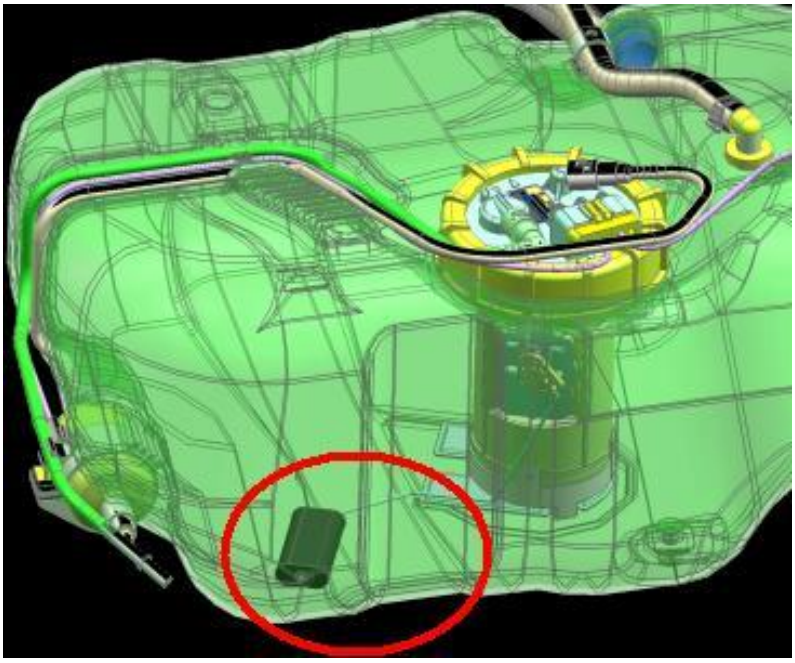

Figura 17 - Instalação não recomendada do sensor de nível.

A situação mostrada na figuras 2.16 deve ser evitada, uma vez que as extremidades sofrem a maior variação do nível de combustível quando o veículo é submetido a situações de *roll* (rotação no eixo Y do carro, inclinação lateral) e/ou *pitch* (rotação no eixo X, galope), ilustrado pela Figura 19, fazendo com que o micro controlador considere uma informação errônea na marcação do nível de combustível, conforme indicado na Figura 18.

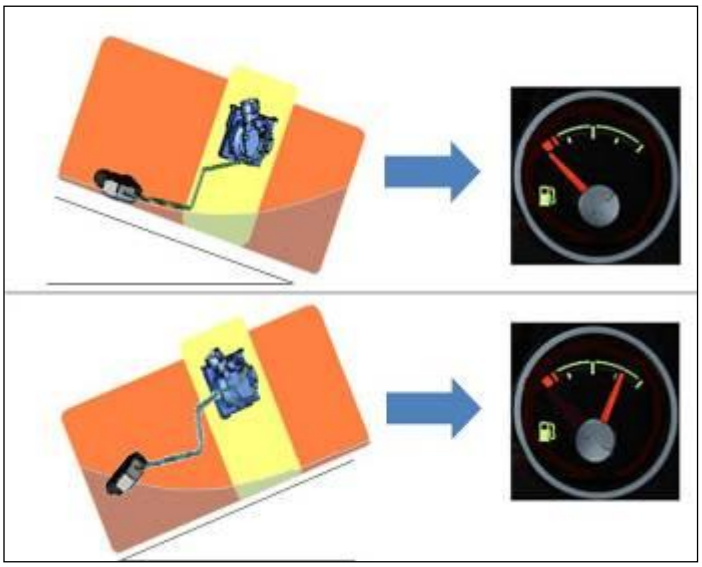

Figura 18 - Indicação equivocada devido à instalação da bóia próxima as extremidades.

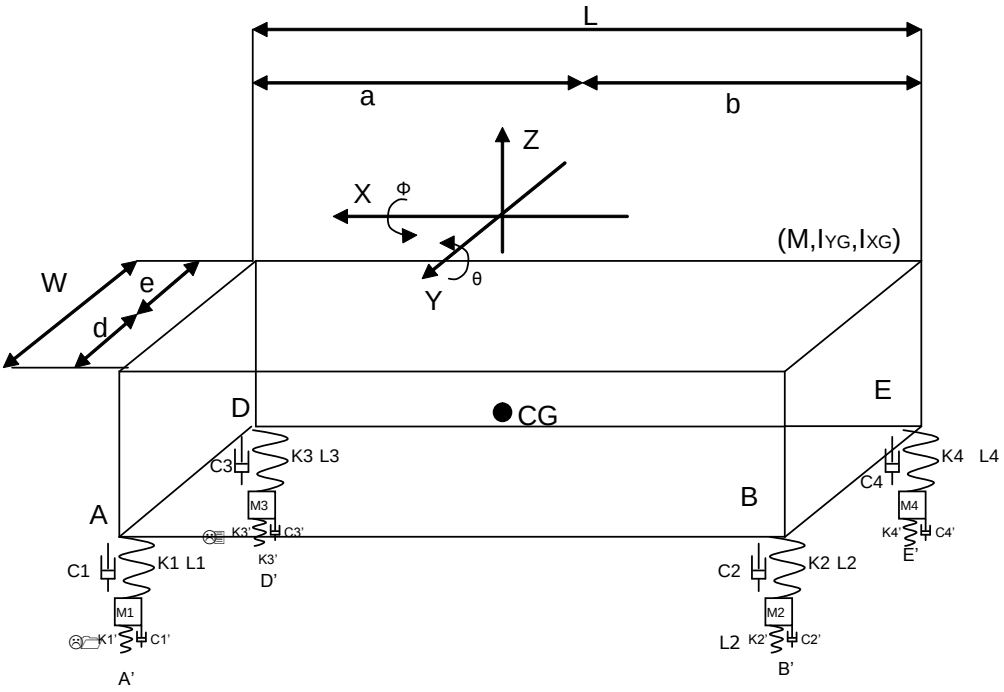

Figura 19 - Modelamento matemático do sistema de suspensão de um veículo com barra estabilizadora. Em “Y” existe efeito *roll* (rotação no eixo Y) e em “X” existe efeito *pitch* (rotação no eixo X).

Para minimizar o problema de posicionamento, a proposta para tal tanque é realocar o sensor de nível de forma que fique na posição central do maior bolsão, conforme ilustrado na Figura 20.

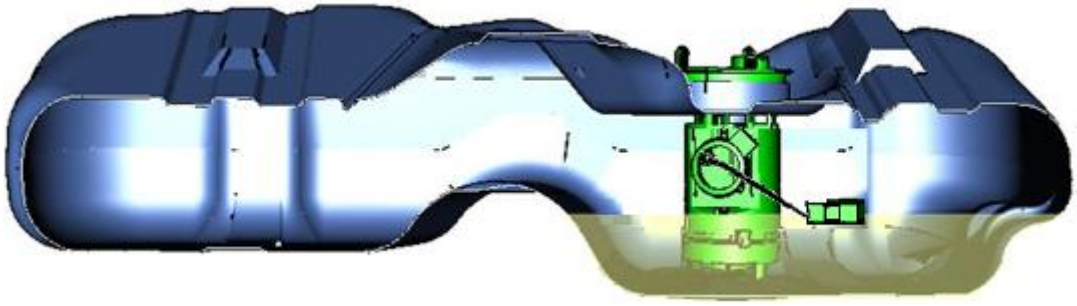

Figura 20 - Instalação recomendada do sensor de nível.

Outra possível solução é a utilização de um segundo sensor de nível no segundo bolsão auxiliando a indicação de combustível. Essa proposta faz com que a precisão seja apurada, porém o custo do projeto será penalizado. Essa solução foi empregada em tanques da BMW, vide Figura 21. Neste caso o micro controlador deve realizar uma ponderação entre os dois marcadores para determinar a real quantidade de combustível presente no tanque.

Figura 21 - Foto de um tanque cortado da BMW [6].

O problema de oscilação mencionado acima pode ser facilmente identificado através das reclamações obtidas em QAS:

“DA UMA VARIACAO MUITO GRANDE NO PONTEIRO DE COMBUSTÍVEL NA ESTRADA PLANA, EM SUBIDA. SE DEIXO O CARRO PARADO, QUANDO VOU SAIR, CONFORME ESTOU DIRIGINDO, NAO OCORRE. ÀS VEZES O TANQUE ESTÁ CHEIO E APÓS ESTAR ANDANDO UM DETERMINADO TEMPO, O PONTEIRO NÃO SE MOVIMENTOU. E COMO SE ESTIVESSE PARADO O CARRO. PERCEBO MAIS COM O VEICULO EM USO.”

2.4 Sensor/Medidor de Nível

Conforme mencionado no Capítulo 2, o Sensor de Nível é composto por:

- Bóia;
- Haste e;
- Potenciômetro.

O Sensor de Nível é considerado a principal peça do sistema, por ser responsável justamente pela indicação do nível de combustível instantâneo.

O componente do sensor, responsável por enviar o valor de resistência equivalente à quantidade de litros no tanque, é o potenciômetro. Passando a ser o foco deste tópico.

O Potenciômetro possui uma construção muito simples: fio resistivo enrolado (película fina de carbono ou cerâmica) e uma haste plástica com um contato

metálico, deslizando sobre a mesma, criando um divisor de tensão, conforme ilustrado pela Figura 22.

Figura 22 - Fio/Filme resistivo (esquerda), e haste plástica e contato deslizante (direita).

A divisão de tensão criada no instante da medição está diretamente relacionada à quantidade de combustível presente no tanque, no qual, resultará em uma altura h da bóia conforme Figura 23.

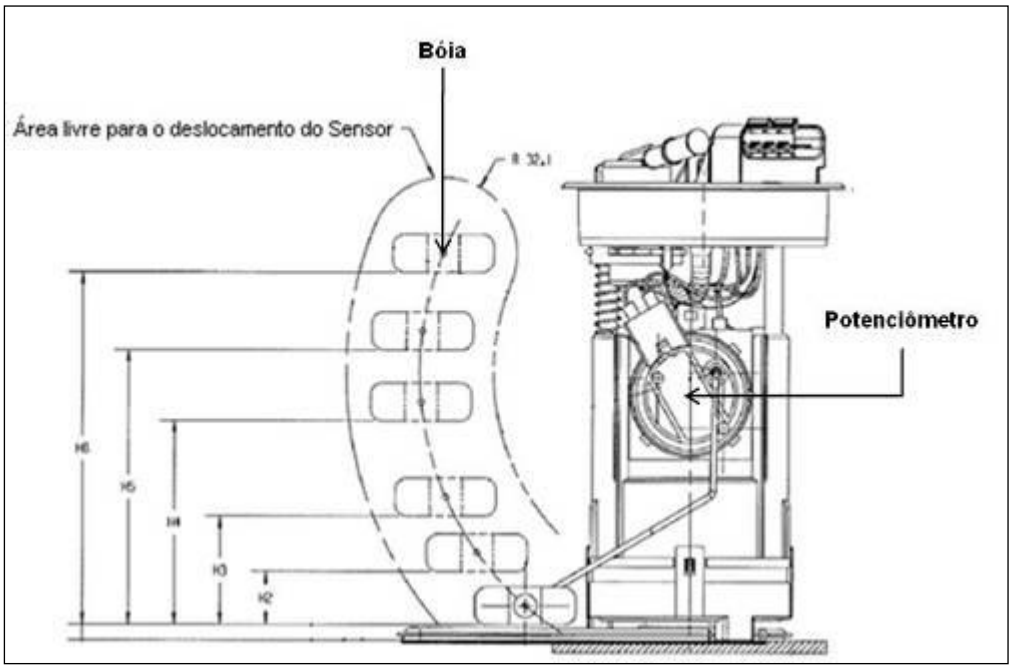

Figura 23 - Deslocamento do Sensor de Nível.

Para cada altura h, o micro controlador medirá um valor de resistência diferente, proveniente da movimentação do contato deslizante. A faixa de resistência entre o

tanque cheio e vazio é determinada através de uma tabela presente no desenho do sensor, contendo o valor de resistência para os principais pontos da medição de combustível (Tabela 1).

	Nível de Combustível	Resistência (Ω)	Altura (mm)
H6	Cheio	38,0 ± 1,5	149,0
H5	¾	74,5 ± 2,5	116,3
H4	½	123,0 ± 3,0	86,2
H3	¼	188,0 ± 3,5	45,9
H2	Reserva	232,8 ± 4,0	22,4
H1	Vazio	283,0 ± 5,0	0,0

Tabela 1 - Relação de Resistência (Ω) x Altura (mm) do sensor da Figura 23.

Ao analisar a Tabela 1, nota-se que quanto mais próximo da altura zero (H1), maior é o valor da resistência (de 38,0Ω até 283,0Ω), assim como, quanto mais alto estiver a bóia (H6), menor será o valor da resistência. Vale ressaltar que este conceito costumava ser utilizado em aplicações anteriores, conforme citado no Capítulo 2.1, devido à necessidade de aquecer uma lâmina bi metálica através de uma bobina.

Atualmente não se faz o uso da lâmina bi metálica para a marcação, contudo, o conceito de variação da resistência permanece inalterado, pois caso o sensor apresente algum problema de falta de conexão, por exemplo, o marcador irá indicar tanque vazio, alertando o usuário que há alguma falha no sistema.

A bóia é outro componente importante, influenciando muito na marcação do nível de combustível. Analisando em detalhes as forças exercidas sobre a bóia temos o seguinte:

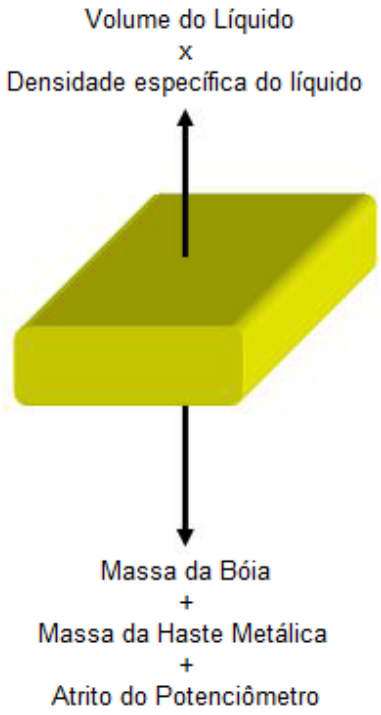

Figura 24 - Forças exercidas sobre a bóia.

(Volume do Líquido[cc] x Densidade do Líquido[Kg/cc])

≥

(Massa da Bóia [Kg] + Haste metálica [Kg]) x gravidade + Atrito do potenciômetro [N]) (2)

A somatória das forças (Figura 21 e equação 2) faz com que a bóia flutue sobre o combustível comprovando o princípio de Arquimedes e o ponto de equilíbrio deve estar entre o centro geométrico e a base inferior da forma.

“Todo corpo mergulhado num fluido sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.” (ARQUIMDES, 212 a.C.)

Pode-se resumir o princípio de Arquimedes a uma simples fórmula:

$$I = g.V.\rho \quad (3)$$

Outro fator que ser analisado durante o desenvolvimento é a forma geométrica da bóia, pois quando está próxima a base inferior do tanque (próximo ao vazio) pode gerar um contato antecipado com o tanque induzindo o marcador de combustível a uma indicação errada. A forma mais recomendada é aquela onde o ponto de equilíbrio está o mais próximo possível do fundo do tanque, aumentando a precisão da marcação do nível de combustível.

A forma geométrica mais recomendada é a de um retângulo, pelo fato justamente de permitir uma maior aproximação do ponto de equilíbrio com a base inferior do tanque de combustível, exemplificado pela Figura 25.

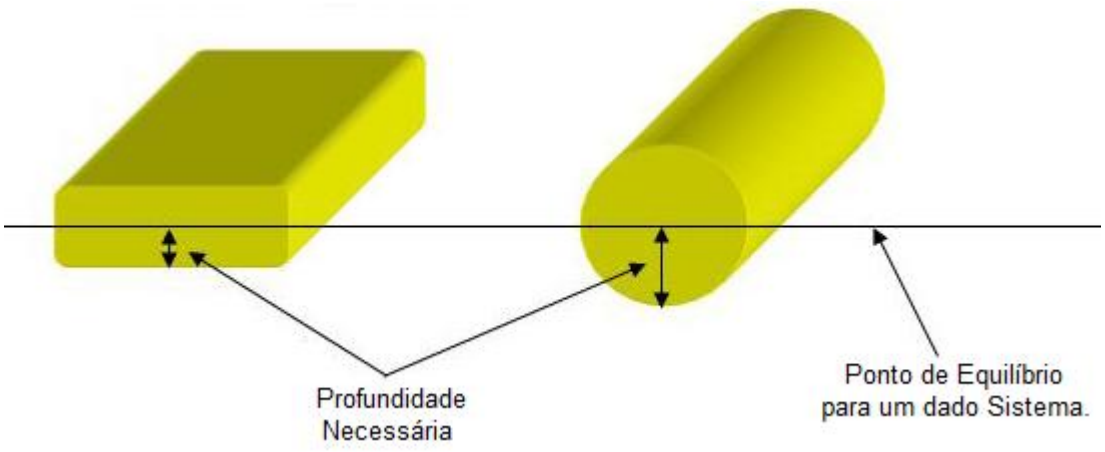

Figura 25 - Diferenças entre bóias de geometria diferentes e com profundidade baixa e grande.

Algumas soluções adotadas para esse problema é a criação de um rebaixo na região onde a bóia encosta no tanque, garantindo que o ponto de equilíbrio esteja muito próximo ao fundo do tanque, Figura 26.

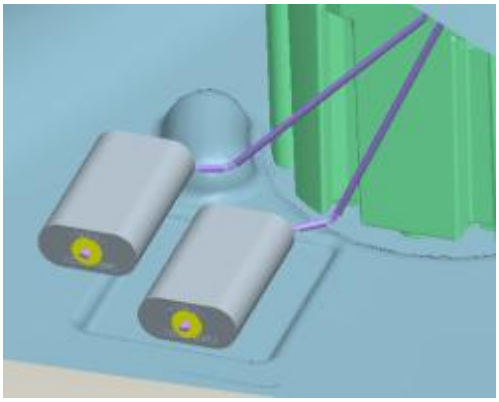

Figura 26 - Rebaixo feito para aproximar o Ponto de Equilíbrio ao fundo do Tanque.

2.5 Painel de Instrumentos

Sua principal função é informar ao usuário o status do veículo no instante desejado. Essas informações devem ser passadas aos usuários através de instrumentos adequados e ergonômicos instalados em uma área reservada para a comunicação do veículo.

Graças ao avanço da tecnologia, os instrumentos passaram de sistemas analógicos para sistemas eletrônicos. Sua iluminação muitas vezes é feitas através de LEDs (“*light-emitting diode”*) e motores de passos controlando o movimento dos ponteiros.

3 METODOLOGIA

O objetivo dessa dissertação é criar um simulador virtual do marcador de combustível em Matlab®, com o intuito de ajudar no desenvolvimento de calibrações para os veículos de uma forma mais rápida e precisa, reduzindo o tempo necessário do desenvolvimento.

Para o simulador serão necessário os seguintes dados do veículo:

3.1 – Resistência do marcador de combustível.

3.1 – Tensão da bateria.

3.2 – Pontos de calibração da curva de deslocamento do ponteiro.

3.2.1 – Padrão de comportamento do ponteiro.

3.3 – Funcionamento do Marcado de Combustível

Todo o programa foi desenvolvido utilizando o Matlab® por ser uma ferramenta de fácil utilização e seu rápido processamento, hoje é uma das ferramentas mais utilizadas na Engenharia para a realização de cálculos complexos, Figura 27.

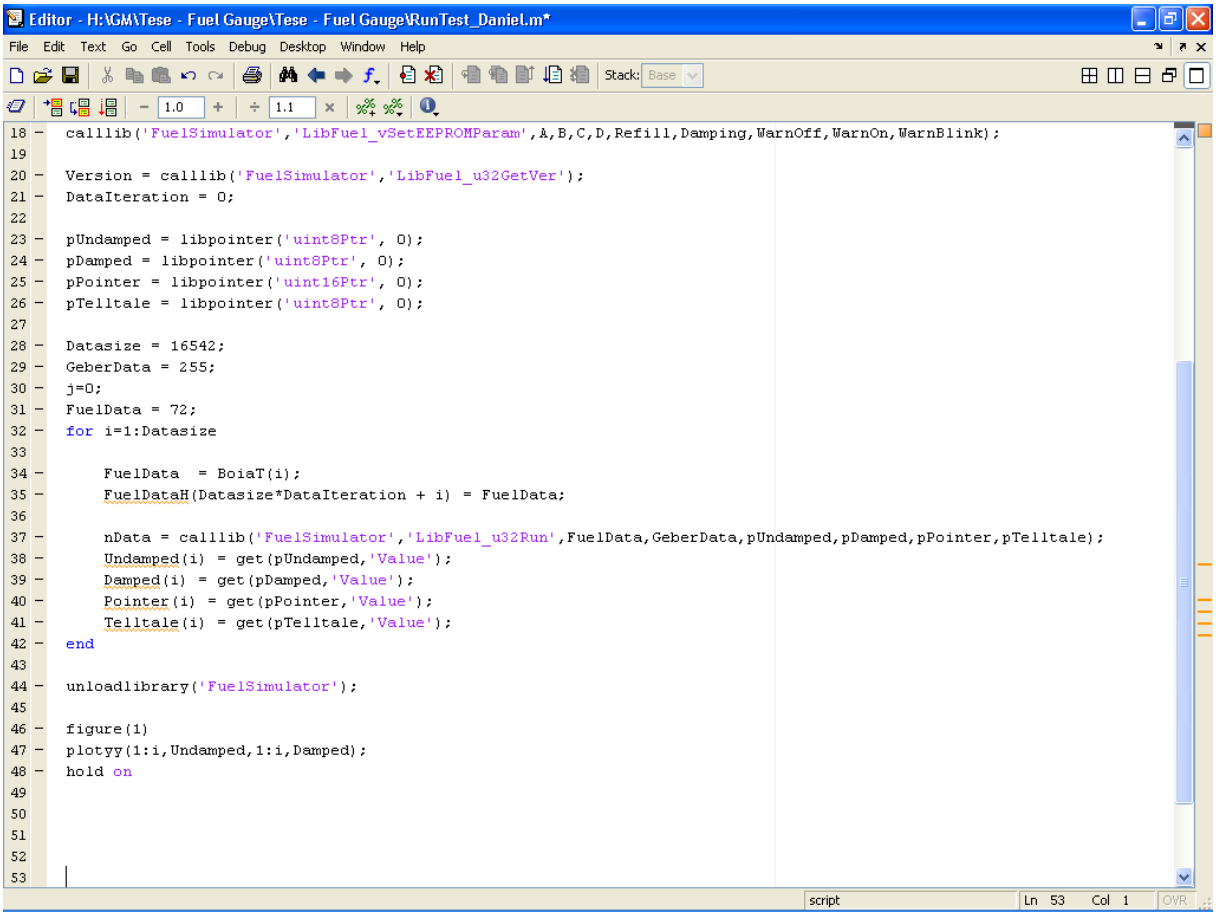

Figura 27 - Programação utilizando o “M File” do Matlab®.

Para simular o comportamento do Painel de Instrumentos, foi cedida pela Continental® uma biblioteca DLL (*Dynamic-link Library* – Biblioteca de Ligação Dinâmica) com o nome “FuelSimulator.dll”, pois a programação (algoritmo e lógica de programação) é confidencial. Junto com a biblioteca foram fornecidas as instruções de como realizar a chamada das funções especificas do Painel de Instrumentos (Marcador de Combustível), Figura 28.

1.2 LibFuel_u32Run		
This routine runs the simulation with the given input data. Its time base is 100 ms, i.e. it is assumed for the simulation that 100 ms has passed between each run of the routine.		
Syntax	`DllExport int LibFuel_u32Run ( UByte u8FuelADCData, UByte u8GeberADCData, UByte *pu8UndampedFuelValue, UByte *pu8DampedFuelValue, UWord *pu16PointerPosition, UByte *pu8TelltaleState )`	
Parameter (In)	`unsigned char u8FuelADCData`	Fuel input ADC value (in ADC units)
	`unsigned char u8GeberADCData`	KL30 input ADC value (in ADC units)
Parameter (Out)	`unsigned char *pu8UndampedFuelValue`	pointer to the calculated undamped fuel value (in 0,5*%)
	`unsigned char *pu8DampedFuelValue`	pointer to the calculated damped fuel value (in 0,5*%)
	`unsigned short *pu16PointerPosition`	pointer to the gauge position (in steps = 0,056 degrees)
	`unsigned char *pu8TelltaleState`	pointer to the state of the telltale: 0 = Telltale off; 1 = Telltale statically on; 2 = Telltale flashing
Return value	`int`	Number of iterations since last cluster reset.

Figura 28 - Explicação dos parâmetros necessários para a execução da Função de Marcação do Nível de Combustível.

Foi definido que cada chamada do procedimento significa uma variação (Δt) de 100ms. Esse valor foi definido em virtude da capacidade do equipamento utilizado para o mapeamento da posição da bóia do sensor de nível e da tensão da bateria que será detalhado no próximo capítulo.

3.1 Mapeamento do Sensor de Nível e Tensão da Bateria

Foi estabelecido um percurso ao qual o veículo deve percorrer e durante o trajeto os valores de resistência e tensão da bateria devem ser aquisitados através de um programa especialmente desenvolvido pela Continental® permitindo assim a comunicação entre o PC e o Painel de Instrumentos (Figura 29) através do protocolo

de comunicação KW2000 (Keyword 2000) disponível nos veículos estudados. Maiores detalhes técnicos sobre o protocolo KW2000 recomenda-se a leitura da dissertação desenvolvida por POVOA, RODRIGO (2007).

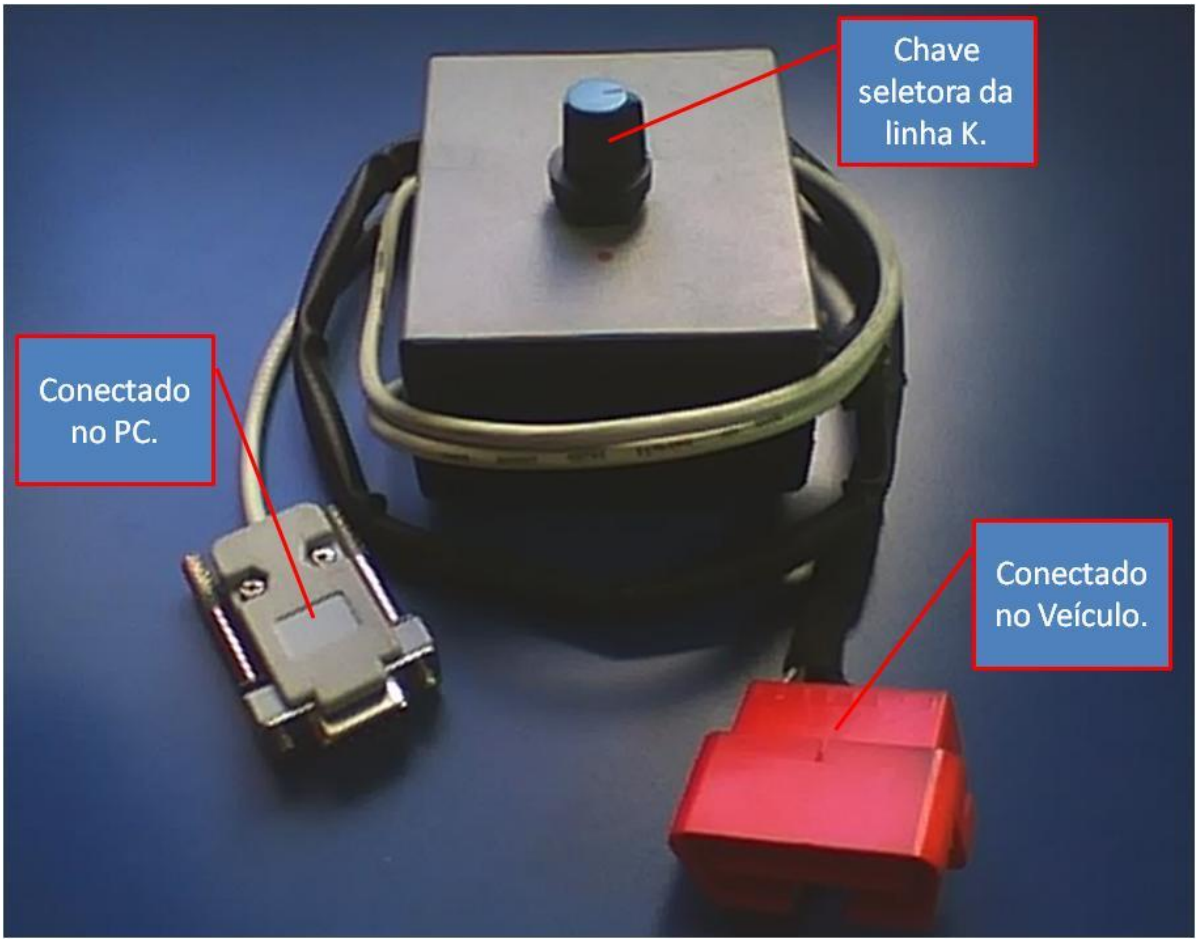

Figura 29 - Dispositivo construído para realizar a comunicação entre PC e o Veículo estudado.

O programa foi desenvolvido em MS-DOS (“*Microsoft® Disk Operating System”*) e por isso conta com uma interface e utilização muito simples, Figura 31.

Ao executar o programa um arquivo de extensão “INI” (Arquivo de Inicialização) é solicitado, contendo os parâmetros para realizar a comunicação do PC com o veículo, Figura 30.

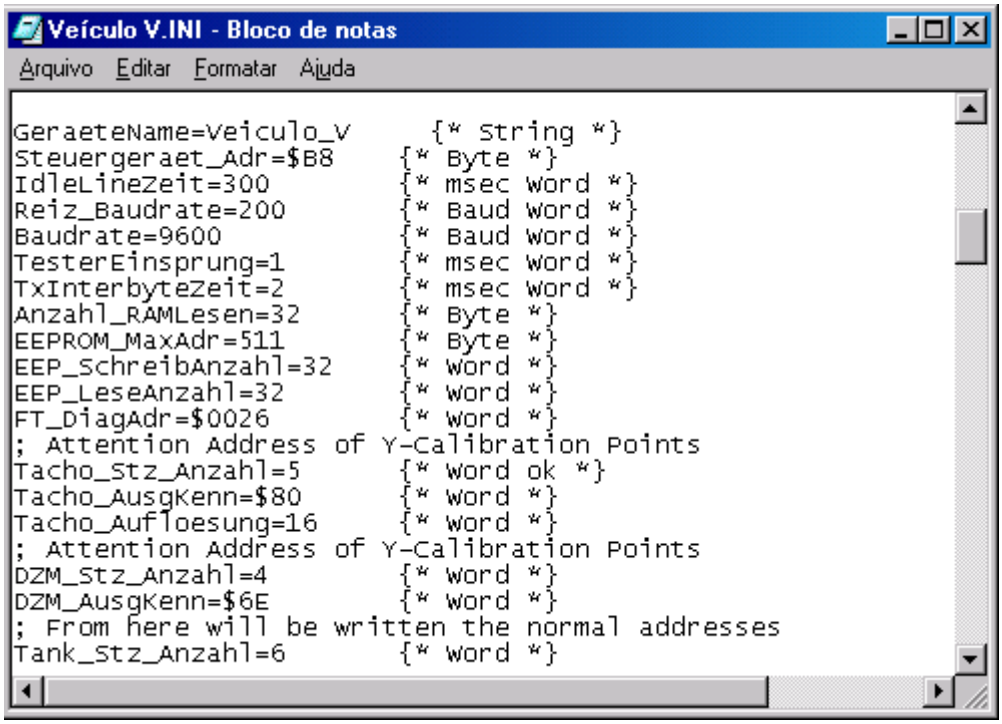

Figura 30 - Parâmetros necessários para a comunicação.

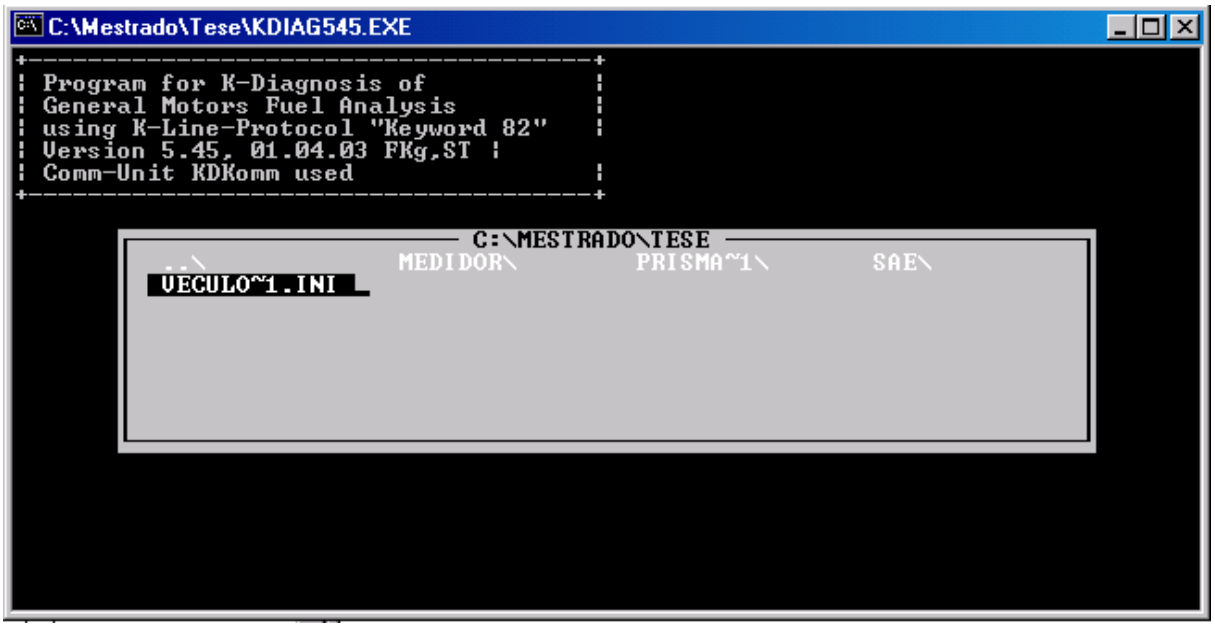

Figura 31 - Escolha do arquivo “INI” para realizar a comunicação entre PC e Painel de Instrumentos.

Após a escolha a comunicação é iniciada e a cada 100ms é feita uma leitura instantânea dos principais dados disponíveis no Painel de Instrumentos: tensão

bateria, resistência do sensor de nível, velocidade instantânea, quilometragem total e parcial, temperatura do motor entre outros.

Os dados coletados são armazenados dentro de um arquivo “LOG”, Figura 32, com os dados espaçados por tabulação sendo que cada leitura instantânea é uma linha do arquivo iniciando sempre pela data e hora completa da leitura. O arquivo pode ser facilmente visualizado por programas como Microsoft Excel® ou outro que ofereça suporte.

KDIAG-Snapshot Log-File @ 31.05.2007

Time	Data (1.Byte=Snap-ID)																								
Time Stamp	SnapID	Settings 1	Settings 2	Inputs	Outputs	KL30	KL15	KL58D	Illu	Fuel ADC	Fuel [l]	Fuel damp [l]	Collant Sensor	Coolant [°C]	Coolant damp	Eng. Speed lo	Eng. Speed hi	Veh. Speed lo	Veh. Speed hi	Trip Odo lo	Trip Odo hi	Main Odo lo	Main Odo mid	Main Odo hi	SIA	SIA
ByteNo	3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
18:06.14.15	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	0D	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.20	80	5F	7E	04	C4	9D	BC	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	0E	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.37	80	5F	7E	04	C4	9C	BB	00	FF	21	C8	C7	FF	46	46	00	00	0F	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.48	80	5F	7E	04	C4	9C	BA	00	FF	24	C8	C7	FF	46	46	00	00	10	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.59	80	5F	7E	04	C4	9D	B9	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	12	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.70	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	13	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.86	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	14	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.14.97	80	5F	7E	04	C4	9D	BA	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	15	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.08	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	16	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.19	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	17	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.30	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	18	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.46	80	5F	7E	04	C4	9D	BA	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	19	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.57	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	1B	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.68	80	5F	7E	04	C4	9D	BA	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	1C	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.79	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	1D	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.15.96	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	1E	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.07	80	5F	7E	04	C4	9E	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	1F	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.18	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	23	C8	C7	FF	46	46	00	00	20	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.29	80	5F	7E	04	C4	9D	BA	00	FF	24	C8	C7	FF	46	46	00	00	21	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.45	80	5F	7E	04	C4	9C	BA	00	FF	24	C8	C7	FF	46	46	00	00	22	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.56	80	5F	7E	04	C4	9D	BB	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	24	00	05	00	79	00	00	D9	02
18:06.16.67	80	5F	7E	04	C4	9D	BA	00	FF	22	C8	C7	FF	46	46	00	00	25	00	05	00	79	00	00	D9	02

Figura 32 - Exemplo do registro gerado visualizado no Microsoft Excel®.

Os dados de tensão da bateria e resistência do sensor possuem a seguinte característica:

- ‘KL15’ (Tensão da Bateria): valor em hexadecimal proveniente do conversor A/D, variando entre 00h e FFh, sendo que 00h representa 0V e FFh representa 16V.
- ‘Fuel ADC’ (resistência do sensor): valor em hexadecimal proveniente do conversor A/D, variando entre 00h e FFh, sendo que 38h representa 36Ω e EAh representa 283Ω.

Após a coleta dos dados do sensor foi gerado um gráfico no Matlab® para melhor visualização do comportamento do sensor de nível ao longo do trajeto executado, Figura 33:

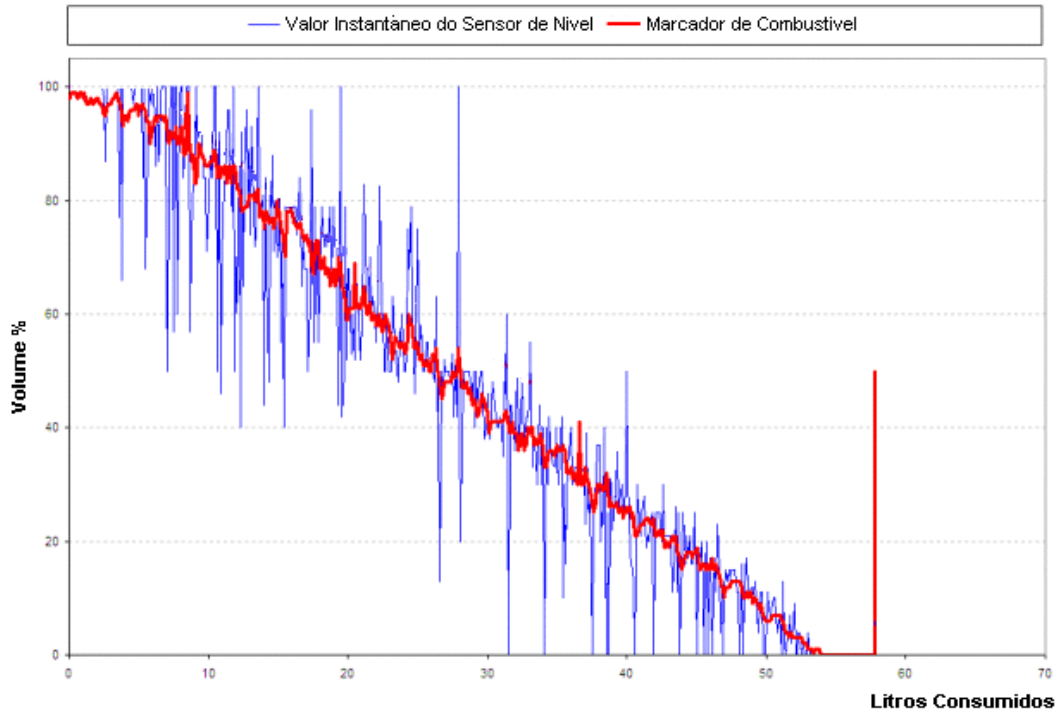

Figura 33 - Movimentação do sensor de nível dentro do tanque de combustível

Curva azul: representa o valor instantâneo do sensor de nível dentro do tanque de combustível. Ou seja, caso o marcador de combustível refletisse exatamente o valor instantâneo do sensor o ponteiro ficaria oscilando dessa maneira.

Curva vermelha: indica a posição que o marcado de combustível está marcando no momento, ou seja, o sinal já foi tratado através de filtros digitais e com o atraso do movimento programado.

3.2 Pontos de Calibração

Para que o micro controlador desloque o ponteiro de marcação de combustível é necessário que seja programado nele quais os valores de resistência corresponde a cada ponto principal, que são seis: cheio, ¾, ½, ¼, reserva e vazio.

Os valores são gravados na EEPROM[1] (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) são determinados pela montadora que, por sua vez, os grava utilizando o equipamento de final de linha, próprio para tal operação.

Para gravar os valores não basta apenas saber o valor da resistência que corresponde aos principais pontos, deve ser feita a conversão através da Fórmula (3) que é determinada pelo Fornecedor, baseada na relação de resistências existente na entrada do pino do micro controlador, Figura 34.

[1] Memória Somente de Leitura Programável Apagável Eletricamente: a memória EEPROM pode ter o seu conteúdo apagado eletricamente. É possível gravar e apagar o conteúdo da memória mesmo com a memória instalada no circuito.

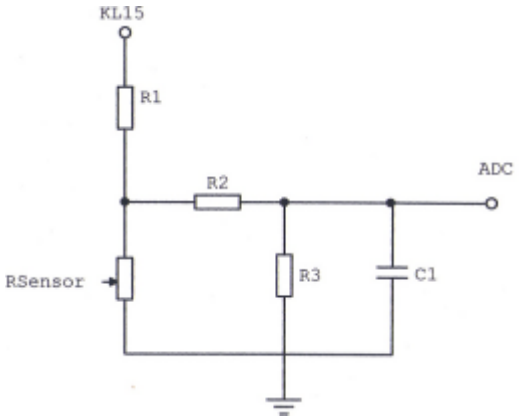

Figura 34 - Entrada do micro controlador.

$$Xh = \frac{432 \times Rsensor}{Rsensor + 238.3333\Omega} \quad (3)$$

Utilizando a Fórmula (3) é possível determinar quais os valores a serem gravados na EEPROM. Inicialmente são utilizados os valores de resistências referenciados no desenho da bomba de combustível, conforme Tabela 2.

	Nível de Combustível	Resistência (Ω)	X [Decimal]	X [hex]
H6	Cheio	38,0	59	3B
H5	¾	74,5	102	66
H4	½	123,0	147	93
H3	¼	188,0	190	BE
H2	Reserva	232,8	213	D5
H1	Vazio	283,0	235	EB

Tabela 2 - Resistência (Ω) da Tabela 2.1 convertida para decimal e hexadecimal.

Através desses valores é possível gerar a curva de comportamento do marcador; caso o valor convertido pelo conversor A/D esteja dentro de um dos setores (H1-H2, H2-H3, H3-H4, H4-H5 e H5-H6) o micro controlador executa uma interpolação linear, Figura 35, entre os pontos para determinar a indicação exata.

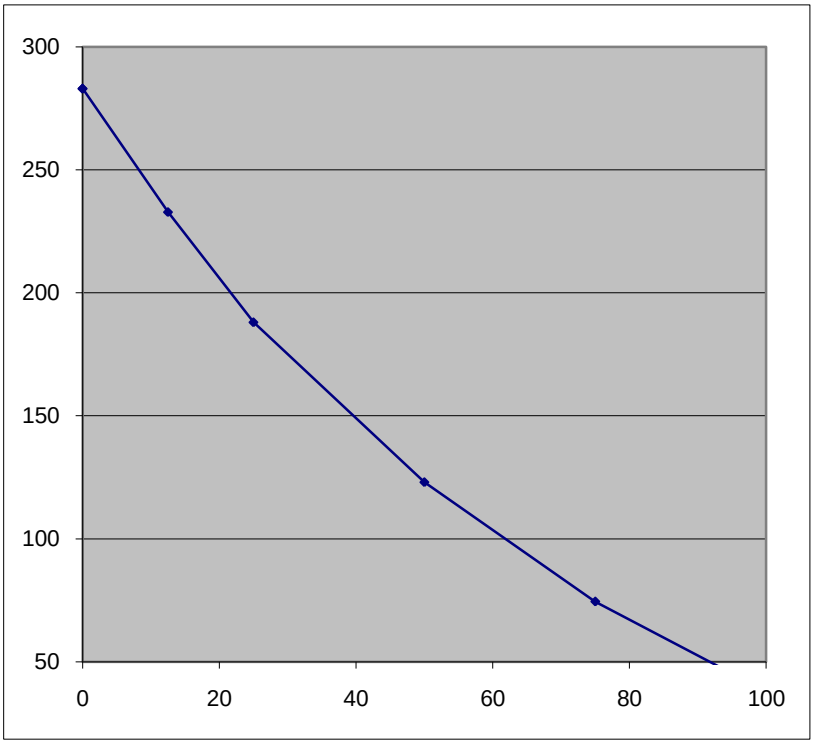

Figura 35 - Interpolação dos pontos principais em hexadecimal.

Alem dos valores mencionados anteriormente, outros parâmetros auxiliares são necessários para o correto funcionamento do marcador, são eles:

- *Limite para reabastecimento*: este parâmetro tem como objetivo auxiliar o micro controlador a identificar o procedimento de re-abastecimento. Neste caso foi configurado para que caso aja uma variação maior ou igual a 10% do volume, o ponteiro deve deslocar para a nova marcação.

- *Acender a luz da reserva*: deve ser colocada para qual porcentagem de volume ainda presente no tanque a luz indicadora de reserva deve ser acesa.

- *Piscar a luz da reserval*: utiliza-se para indicar que a quantidade de combustível está muito próxima de zero. O valor a ser gravado também deve ser a porcentagem de volume no tanque ainda presente no tanque (esse valor deve ser menor que o da função *acender a luz de reserva*).

- *Desligar a luz da reserva*: valor mínimo necessário para que a luz de reserva apague quando estiver acesa ou piscando, esse valor deve ser igual ou maior ao de "*Ascender a luz da reserva*", criando assim uma curva de histerese, Figura 36.

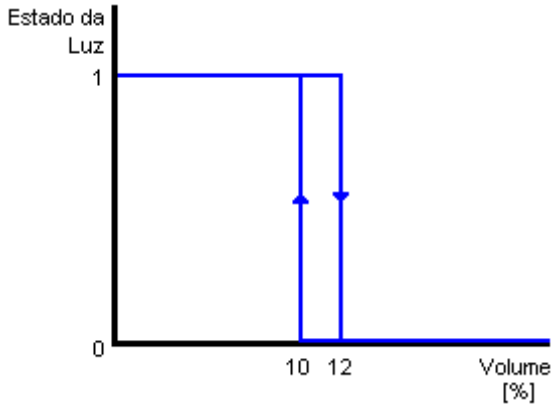

Figura 36 - Curva de histerese para ligar ou apagar a luz da reserva.

- *Atraso*: é um dos principais parâmetros para o correto funcionamento da marcação. Ele indica qual o tempo (τ), em segundos, que o ponteiro deve levar para ir de uma marcação a outro. Isso faz com que o ponteiro se desloque lentamente à posição evitando assim bruscas oscilações.

Para o simulador proposto nesta dissertação será utilizado o valor específico de cada veículo, apenas os valores dos seis pontos principais variam devido à dinâmica do veículo; os parâmetros auxiliares foram definidos baseados em estudos e ensaios internos do Campo de Provas.

3.2.1 Determinação dos Pontos de Calibração

Primeiramente o Campo de Provas define qual será o padrão do deslocamento do ponteiro a ser utilizado na da curva de calibração. Essa informação é importante, pois existe a possibilidade de criar situações onde o marcador marque mais ou menos combustível para melhorar a percepção do usuário, são elas.

- Tanque cheio: segurar o ponteiro por um período maior que o real. Faz com que o ponteiro não se desloque após alguns quilômetros após o abastecimento evitando a sensação de que não é um carro econômico.
- Tanque vazio: marcar menos do que realmente há no tanque, diminuindo a possibilidade de uma pane seca (falta de combustível) gerando uma situação de segurança ao usuário.

Neste caso foi determinado o "*Template*" da Tabela 3.

%	Indicação
100%	Cheio
75%	¾
50%	½
25%	¼
12%	Reserva
4%	Vazio

Tabela 3 - "Template" utilizado.

Em seguida, os pontos de calibração devem ser determinados empiricamente, através do seguinte procedimento:

1. *Galonagem*: consiste em abastecer o tanque até o limite de sua capacidade especificada (não permitir que chegue combustível ao gargalo, pois isso faz

com que aumente o volume, comprometendo os testes) em seguida retirar litro a litro registrando o valor da resistência do sensor, Tabela 4.

Litros Removido	OHMS	%
0	35,8	100%
1	35,8	98%
2	35,8	96%
3	35,9	94%
4	41,1	92%
5	46,2	90%
6	48,9	87%
7	54,1	85%
8	56,5	83%
9	61,3	81%
10	61,3	79%
11	65,8	77%
12	69,7	75%
13	74,1	73%
14	74,4	71%
15	78,5	69%
16	82,9	67%
17	87,7	64%
18	86,9	62%
19	91,1	60%
20	95,4	58%
21	99,6	56%
22	104.0	54%
23	108.3	52%
24	112.1	50%
25	113.3	48%
26	118.4	46%
27	123.9	44%
28	129.0	41%
29	134.1	39%
30	144.0	37%
31	144.2	35%
32	154.4	33%
33	163.4	31%
34	171.9	29%
35	182.8	27%
36	196.0	25%
37	203.3	23%
38	217.1	21%
39	227.0	18%
40	236.6	16%
41	246.5	14%
43	266.4	10%
44	282.5	8%
45	282.5	6%
46	282.5	4%
47	282.5	2%
47,8	282.5	0%

Tabela 4 - Resistência x Litros Removidos.

2. *Pontos de Calibração*: baseado na Tabela 5 escolhe-se os seis pontos que serão utilizados em um primeiro teste prático ao longo de um trajeto predeterminado. Os pontos escolhidos são:

%	Indicação	Ω
100%	Cheio	35,9
75%	¾	69,7
50%	½	112,1
25%	¼	196,0
12%	Reserva	246,5
4%	Vazio	282,5

Tabela 5 - Pontos determinados através da galonagem.

Com os pontos acima devem ser programados no painel de instrumentos através do Tech 1, dispositivo desenvolvido pela *Vetronix Corporation*© exibido na Figura 37, que é capaz de gravar ou visualizar diretamente na memória de módulos parâmetros para teste de Engenharia.

Figura 37 - Equipamento “Tech 1” desenvolvido pela Vetronix© [14].

Em seguida o teste de rodagem deve ser feito e a cada 0,5L e deve ser marcado em uma planilha a posição instantânea do ponteiro. Neste arquivo, Figura 38, existe uma curva mostrando como deveria ser o comportamento baseado no padrão adotado.

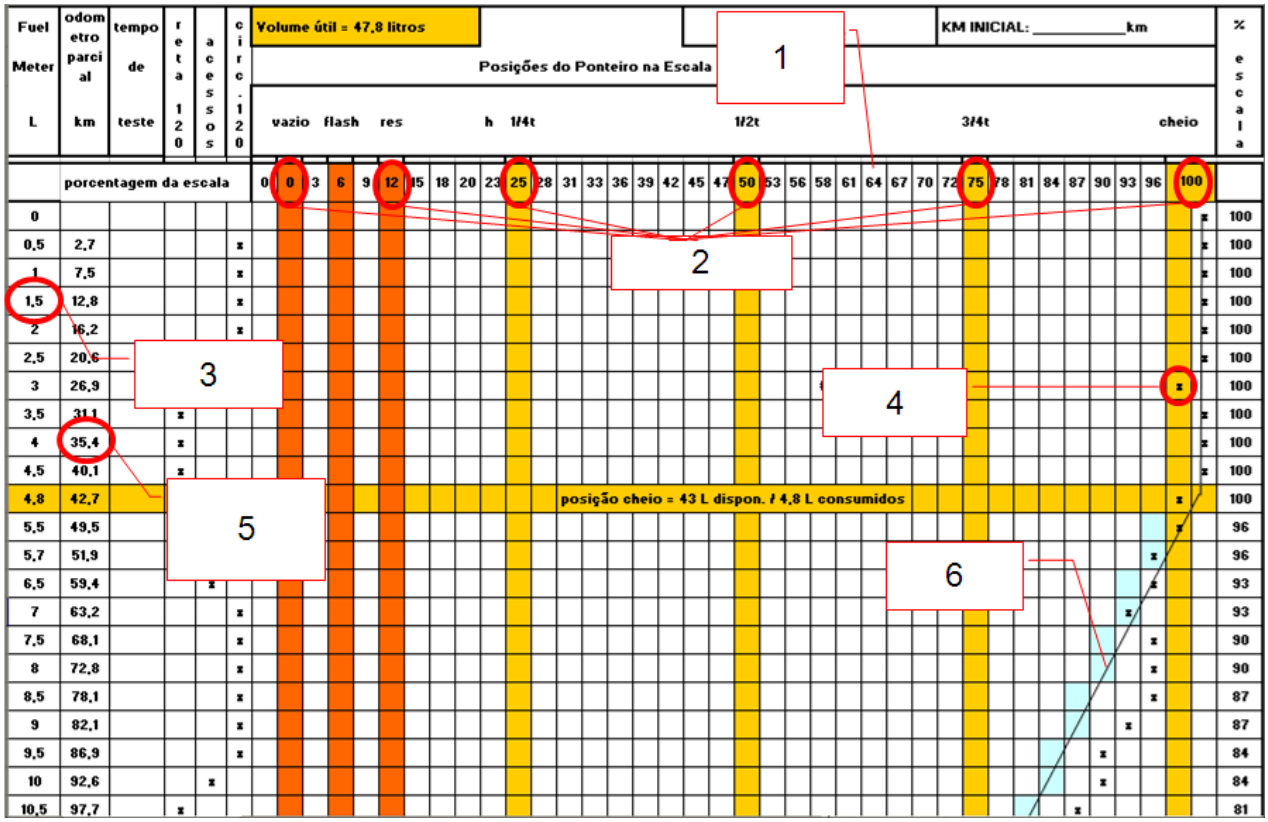

Figura 38 - Planilha de teste do Marcador de Combustível.

1: Quantidade de Combustível ainda presente no tanque em Porcentagem (0-100%).

2: Principais pontos de calibração utilizado na programação do marcador de combustível dos veículos.

3: Quantidade de combustível consumido desde o início do teste, medido pelo medidor de vazão instalado no veículo de avaliação, medido em Litros.

4: Posição instantânea do ponteiro do marcador a cada 0,5L gastos. Neste caso o operador deve olhar a posição do ponteiro e sob seu ponto de vista julgar qual a porcentagem de combustível ainda presente no tanque e correlacionar esse valor com a quantidade de combustível gasto. Na condição indicada pelo número 4 indica que o ponteiro está na posição cheia (100%) com o medidor de vazão indicando um gasto de 3,0L.

5: Quilometragem percorrida (ΔS) desde o início da avaliação, indicada no odômetro parcial.

6: Comportamento esperado do ponteiro do marcador de nível, conforme o *Template* estabelecido.

Para que seja considerado aprovado o ponteiro do marcador deve ter o comportamento igual ou com pequenas variações quando comparado a curva do *Template* (item 6 da Figura 3.13).

Caso não seja aprovado é determinado novos pontos de calibração para a região que apresentou maior divergência e realiza-se o teste novamente até que seja aprovado.

Na Figura 39 é exibido o resultado de um teste não aprovado comparado ao teste em que foi aprovado (apenas a região de Cheio até ¾), ficando evidente que o resultado aprovado está próximo ao comportamento esperado (*Template*).

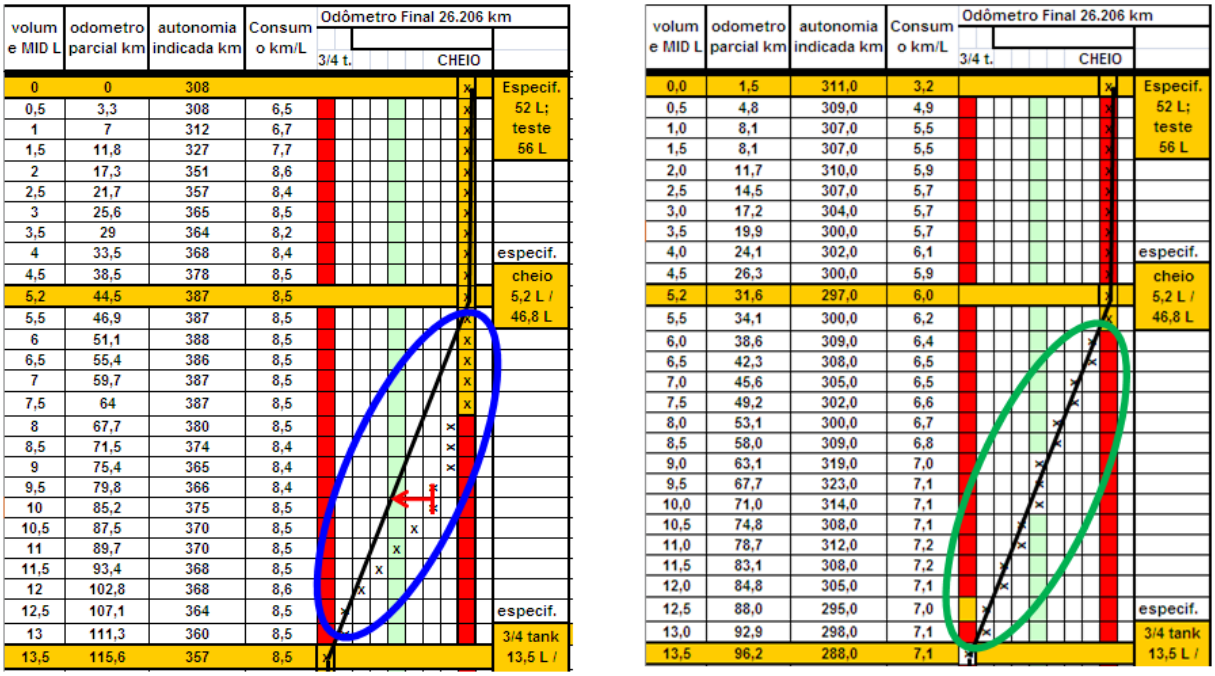

Figura 39 - Não Aprovado (Esq.) vs. Aprovado (Dir.).

O teste dinâmico (rodagem) será sempre necessário, pois durante a rodagem existem outros fatores que influenciam na movimentação do medidor de nível e que o simulador não é capaz de prever, alguns já foram citados no Capítulo 2, como: o comportamento dos amortecedores e molas e o formato do tanque de combustível.

Dependendo da constante de amortecimento (C) e a constante de mola (K) as irregularidades do piso são transmitidas, com uma intensidade maior (conjunto mais duro) ou menor (conjunto mais flexível), para a carroceria, que por sua vez transmitirá ao tanque de combustível, pois está fixada diretamente através de braçadeiras e parafusos à carroceria.

Caso tenhamos um veículo com um conjunto mola amortecedor, Figura 40, mais duro, as irregularidades do trajeto serão transmitidas com uma maior intensidade ao tanque de combustível fazendo com que o sensor de nível sofra uma maior vibração, aumentando consideravelmente os problemas relatados no Capítulo 3. Esse problema só pode ser evidenciado com a rodagem do veículo por trajetos com irregularidades.

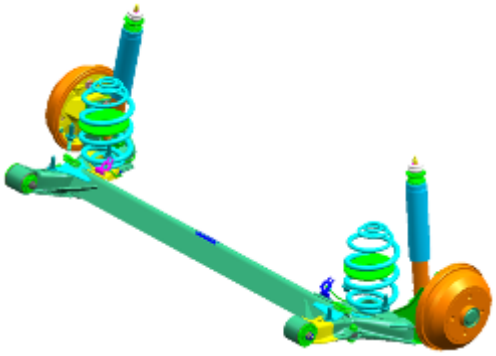

Figura 40 - Conjunto de suspensão e amortecedor traseiro de um veículo.

3.3 Funcionamento do Marcador de Combustível

Após a explicação dos parâmetros necessários para a simulação, nesse capítulo será abordado o funcionamento (eletrônica e software) do marcador de combustível com maior detalhe.

Nos capítulos anteriores vimos em detalhe como a informação chega ao micro controlador, porém não abordamos de que maneira que o micro controlador trata essa informação para tomar a decisão de movimentar ou não o marcador de combustível.

Com a conversão A/D do micro controlador a informação analógica passa para digital em forma de dados hexadecimal variando entre 00h até FFh (0 a 255 decimal). Em seguida é feita uma comparação entre os pontos de calibração para determinar em que quadrante se encontra a informação (H1-H2, H2-H3, H3-H4, H4-H5 ou H5-H6), Figura 41.

Determinado o quadrante é feita uma interpolação linear e determina-se qual a porcentagem de combustível presente no tanque. Por exemplo, se o valor convertido pelo micro controlador fosse A0h (160 decimal ou 140Ω) e os seis pontos de calibração fossem os mesmo do Capítulo 4.2.1, representaria 45% do tanque cheio.

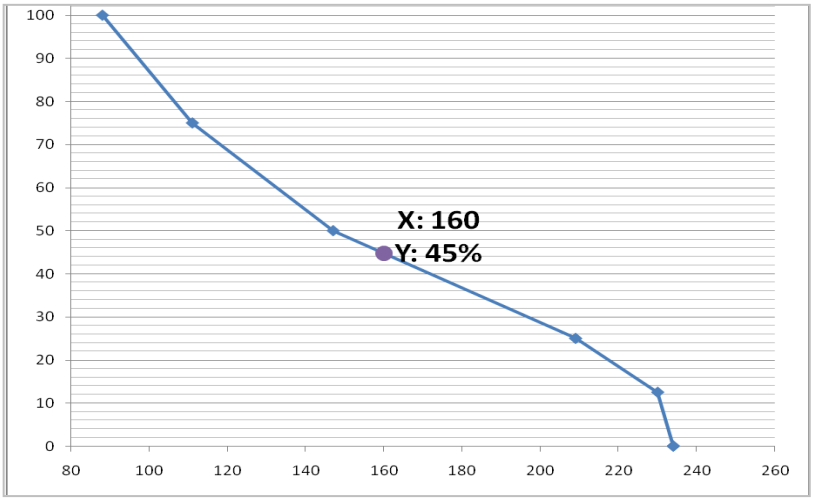

Figura 41 - Localização do valor AD convertido pelo micro controlador.

Em seguida é utilizado o fator de amortecimento, definido em 180 segundos, fazendo com que o ponteiro não se desloque rapidamente a posição de 45%, caso contrário em determinadas situações o ponteiro oscilaria bruscamente causando desconforto e dúvida ao Cliente. A curva utilizada, o de uma exponencial, possui um procedimento de amortecimento que é de propriedade do fornecedor do painel de instrumentos e por esse motivo o código não pode ser divulgado. Porém pode

comparar o comportamento ao circuito série RC (Resistor e Capacitor) de um circuito eletrônico oscilador (τ =1/RC).

$$V_C(t) = V\left(1 - e^{-t/RC}\right) \tag{3}$$

Uma maneira fácil de exemplificar tal situação é executar a simulação do movimento do sensor de nível de cheio (38Ω) para vazio (283Ω), com um atraso de 180 segundos. Neste exemplo o tempo de movimentação de um extremo a outro foi de 600 segundos (10 minutos, cerca de 3 vezes o valor de τ), Figura 42.

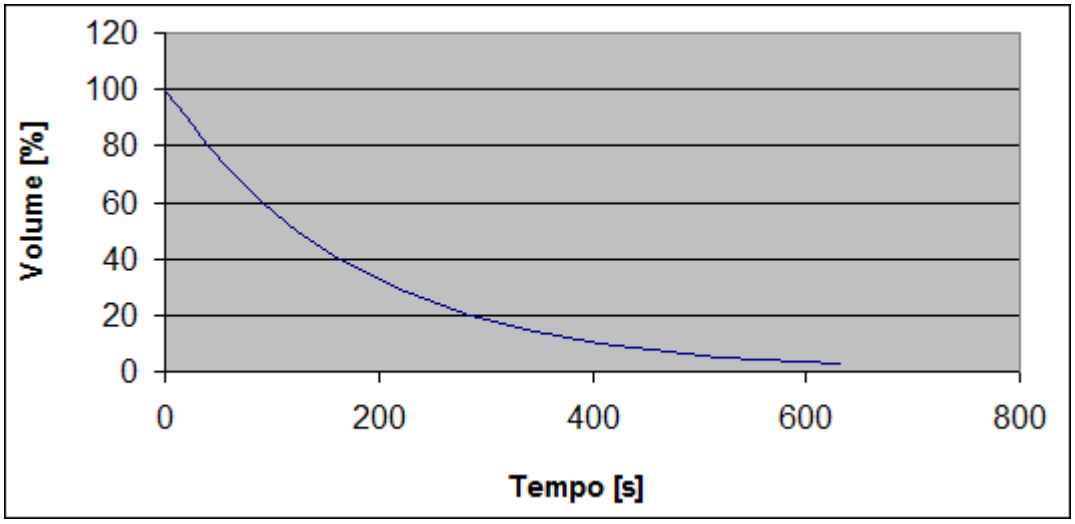

Figura 42 - Inicializado com a resistência do sensor de 38Ω (tanque cheio), em seguida este valor foi alterado para 283Ω (tanque vazio).

Determinado o valor para qual o ponteiro deve ser deslocado o micro controlador realiza o processamento para saber quantos pulsos devem ser gerados para deslocar o ponteiro à marcação correta.

Esse processo se repete a cada conversão realizada pelo micro controlador. Outras situações que podem ocorrer são:

- *No reabastecimento*: ao ligar o painel de instrumentos (ligar o carro) é feita uma série de medições do sensor de nível. A média dos valores é comparada ao valor armazenado na memória no instante anterior ao desligamento do painel (desligar o carro), se a variação for maior ou igual ao programado, neste caso a variação é de 10%, o atraso é desligado por 1 segundo fazendo com que o ponteiro se desloque rapidamente a posição correta.

- *Ao Desligar e Ligar o veículo*: quando o painel é desligado o valor que o ponteiro estava marcando no momento é registrado na memória do painel. Assim que o painel é religado o procedimento de reabastecimento é executado e caso não ocorra o reabastecimento o ponteiro é deslocado exatamente para a posição de antes de desligar o veículo e logo em seguida inicia o procedimento de identificação do nível de combustível presente no tanque, explicado anteriormente neste Capítulo.

4 TESTES E RESULTADOS

O simulador pode ser resumido pelo diagrama ilustrado pela Figura 43:

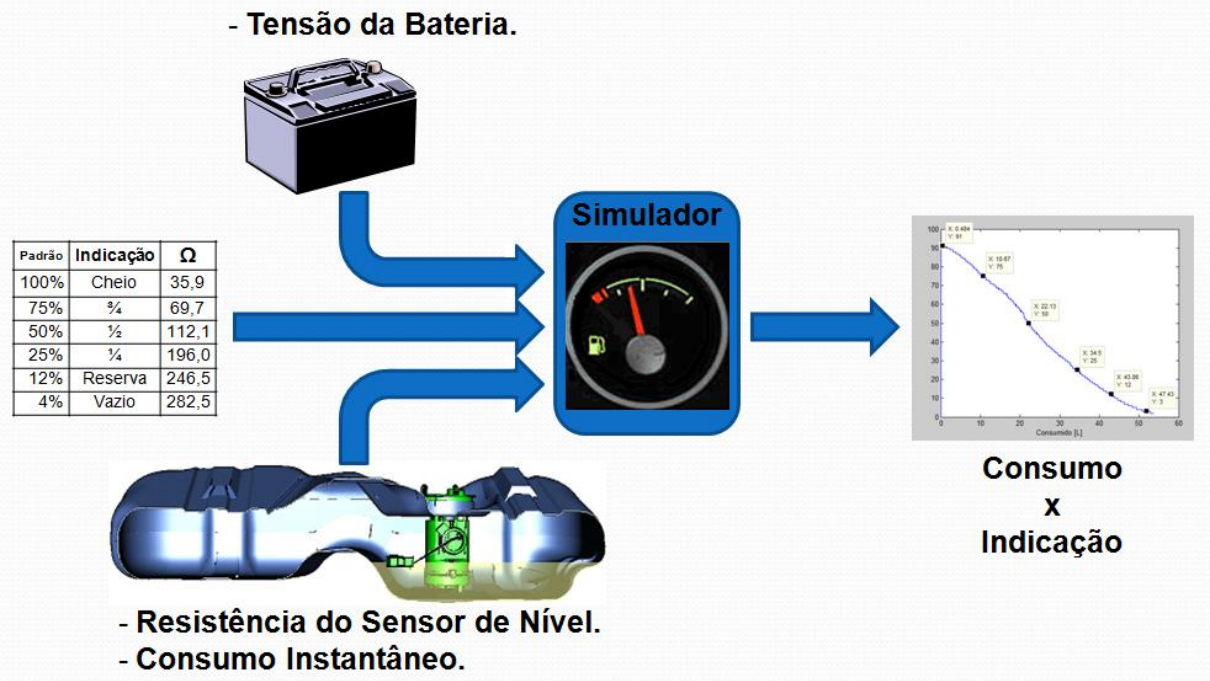

Figura 43 - Diagrama do Simulador.

Para iniciar os testes foi feito primeiro a rodagem de um veículo por uma rota externa pré-estabelecida e utilizando o software descrito no Capítulo 3.1 foram coletados os valores instantâneos do Painel de Instrumentos num intervalo de 100ms entre as amostragens. Com isso foi gerado uma tabela com cerca de 67.000 amostras, algumas delas podem ser visualizadas na Figura 44.

Time Stamp	KL30	Tensão da Bateria	KL58D	Illu	Valor da Resistência	Nivel Real	Nivel com Atraso	Collant Sensor	Coolant [°C]	Coolant damp	Eng. Speed lo	Eng. Speed hi	Veh. Speed lo	Veh. Speed hi	Trip Odo lo	Trip Odo hi	Main Odo lo	Main Odo mid	Main Odo hi
ByteNo	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
14:23.10.40	AC	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4F	4E	42	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.10.51	AB	C4	FF	F0	2F	C8	C7	53	4E	4E	40	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.10.62	AD	C6	FF	F0	30	C8	C7	53	4F	4E	44	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.10.73	AC	C7	FF	F0	30	C8	C7	52	4E	4E	46	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.10.84	AC	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4F	4E	46	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.10.95	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	53	4E	4E	45	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.06	AD	C7	FF	F0	2F	C8	C7	53	4F	4E	43	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.16	AD	C7	FF	F0	2F	C8	C7	53	4F	4E	43	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.27	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	43	3	0	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.38	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	53	4E	4E	42	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.49	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	40	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.60	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	3F	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.71	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	3C	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.88	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	3B	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.11.93	AB	C5	FF	F0	2E	C8	C7	53	4F	4E	3A	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.10	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	53	4E	4E	39	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.21	AD	C7	FF	F0	30	C8	C7	52	4E	4E	3A	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.32	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	3B	3	1	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.48	AC	C6	FF	F0	2E	C8	C7	52	4E	4E	3C	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.59	AC	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	3C	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.70	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4F	4E	3E	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.81	AB	C6	FF	F0	30	C8	C7	53	4F	4E	40	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.12.92	AB	C6	FF	F0	2E	C8	C7	52	4E	4E	42	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.03	AD	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	43	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.14	AC	C7	FF	F0	2F	C8	C7	53	4F	4E	44	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.25	AB	C5	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	47	3	2	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.36	AD	C7	FF	F0	2F	C8	C7	53	4E	4E	4A	3	3	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.53	AC	C6	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	4C	3	3	0	0	0	38	3F	0
14:23.13.58	AE	C8	FF	F0	2F	C8	C7	52	4E	4E	4D	3	3	0	0	0	38	3F	0

Figura 44 - Tensão da Bateria (Verde) x Resistência (Amarelo) x Consumo Instantâneo Real (Bege) e com Atraso (Marrom).

O primeiro passo é certificar-se que o programa está realmente fiel ao que realmente ocorre no veículo. Para tal é simular a rodagem do veículo utilizando apenas as colunas de Tensão da Bateria (coluna verde) e Valor da Resistência (Amarela), ambas às colunas estão demonstradas na Figura 44.

Utilizando o programa desenvolvido em Matlab® é possível simular o comportamento do marcador do veículo virtualmente. O resultado deve ser idêntico

ou muito próximo do real (coluna marrom da Figura 44) e esse gráfico comparativo pode ser visualizado na Figura 45.

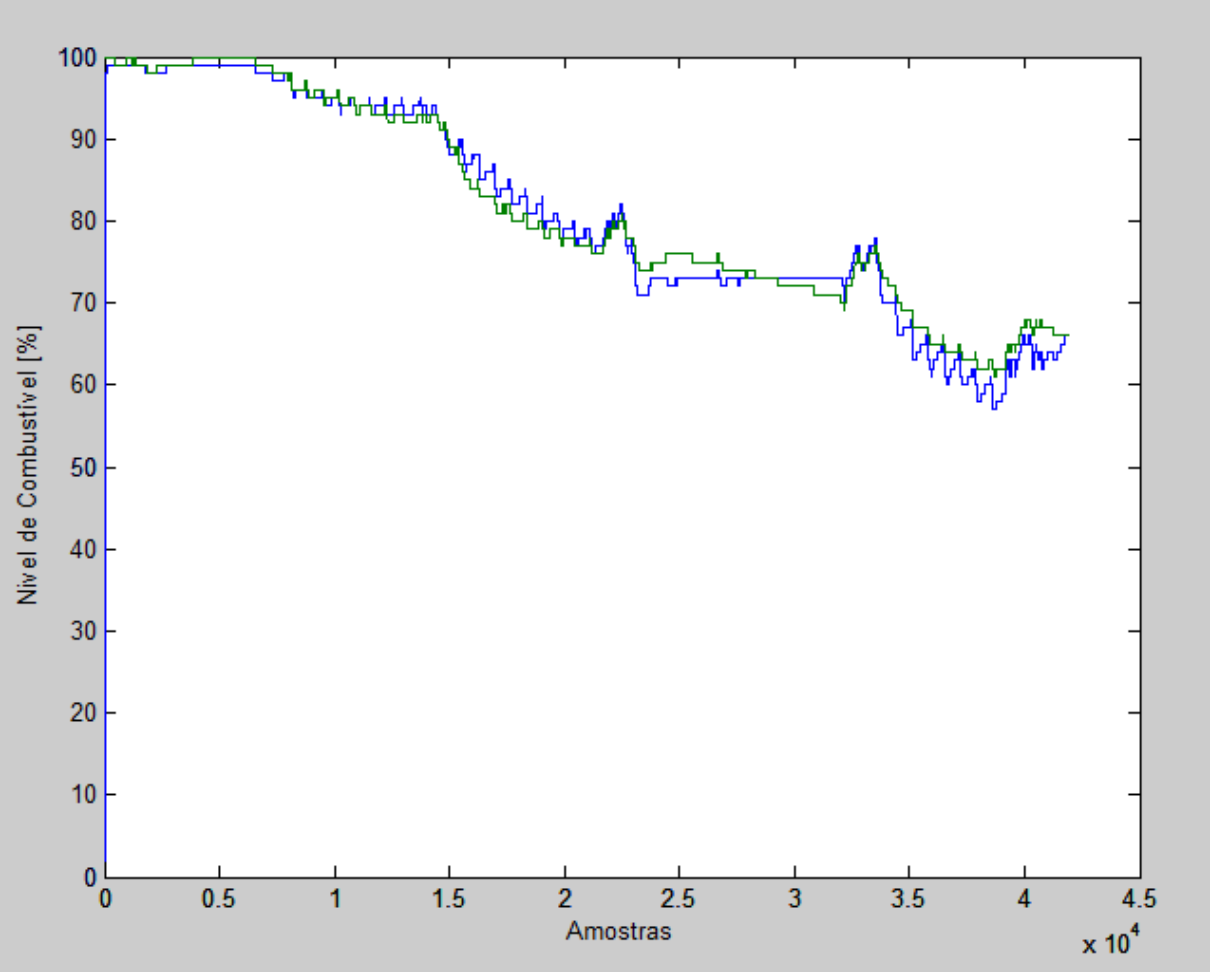

Figura 45 - Simulação da rodagem Virtual (Azul) vs. Real (Verde).

Observando o resultado apresentado na Figura 45 constata-se que existe um pequeno erro em determinados instantes (existe um erro máximo de 4%), Figura 46.

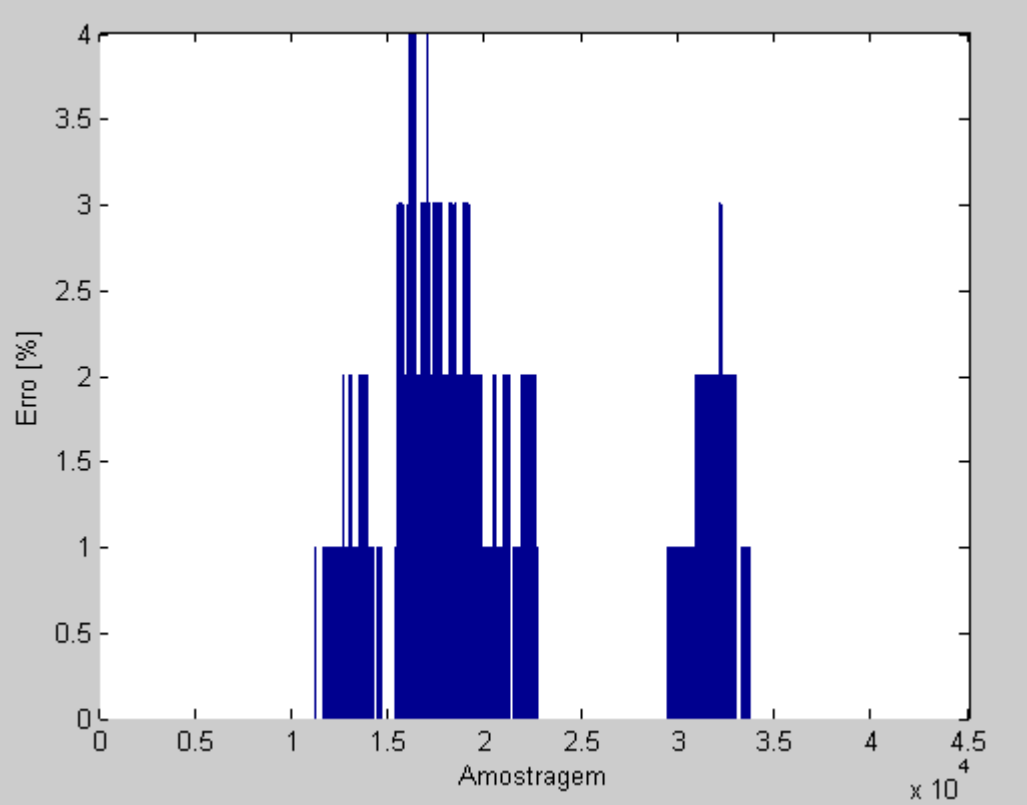

Figura 46 - Gráfico do erro entre Virtual vs. Real.

Baseado nos dados acima pode-se definir que o simulador está aprovado. Após o desenvolvimento do simulador é necessário criar as curvas de calibração (Indicação vs. Consumido). Para isso foi feito a coleta de dados do Painel de Instrumento (Capítulo 3.1) em paralelo a medição do consumo instantâneo do motor do veículo utilizando um medidor de vazão instalado na linha de combustível.

Para garantir que o tanque fosse preenchido com a quantidade exata de combustível foi necessário deixá-lo vazio; inclusive o volume residual que não é sugado pela bomba de combustível foi retirado. Em seguida deve encher o tanque até sua capacidade nominal especificada no desenho e no manual do proprietário. Após esse procedimento é possível iniciar a coleta de dados.

Time Stamp	Tensão da Bateria	Hex	Valor da Resistência	Hex	Nível Real	[%]	Nível com Atraso	[%]	Consumo Instantaneo [L]
14:23.10.40	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0001
14:23.10.51	C4	196	2F	47	C8	100	C7	100	0,0001
14:23.10.62	C6	198	30	48	C8	100	C7	100	0,0001
14:23.10.73	C7	199	30	48	C8	100	C7	100	0,0002
14:23.10.84	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0002
14:23.10.95	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0003
14:23.11.06	C7	199	2F	47	C8	100	C7	100	0,0003
14:23.11.16	C7	199	2F	47	C8	100	C7	100	0,0004
14:23.11.27	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0004
14:23.11.38	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0004
14:23.11.49	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0005
14:23.11.60	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0005
14:23.11.71	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0005
14:23.11.88	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0006
14:23.11.93	C5	197	2E	46	C8	100	C7	100	0,0006
14:23.12.10	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0007
14:23.12.21	C7	199	30	48	C8	100	C7	100	0,0007
14:23.12.32	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0007
14:23.12.48	C6	198	2E	46	C8	100	C7	100	0,0008
14:23.12.59	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0009
14:23.12.70	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0009
14:23.12.81	C6	198	30	48	C8	100	C7	100	0,001
14:23.12.92	C6	198	2E	46	C8	100	C7	100	0,001
14:23.13.03	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,001
14:23.13.14	C7	199	2F	47	C8	100	C7	100	0,0011
14:23.13.25	C5	197	2F	47	C8	100	C7	100	0,0011
14:23.13.36	C7	199	2F	47	C8	100	C7	100	0,0012
14:23.13.53	C6	198	2F	47	C8	100	C7	100	0,0012
14:23.13.58	C8	200	2F	47	C8	100	C7	100	0,0013

Figura 47 - Consumo vs. Posição da Bóia.

Obtendo-se os dados é possível colocá-los em uma única tabela e com isso iniciar o estudo de melhores valores a serem definidos para a curva de interpolação do marcador.

A Figura 47 é a mesma da Figura 44 adicionada a coluna em azul que contem o número de litros consumidos instantaneamente pelo veículo, coletado através do medidor de vazão (explicado neste mesmo capítulo).

Utilizando o simulador é possível visualizar de maneira fácil se os pontos definidos estão dentro do esperado, pois tem condições de simular exatamente o que o motorista irá ver vs. o consumido pelo veículo. Para ter essa visão é necessário criar um gráfico de marcação instantânea vs. consumo (Figura 48).

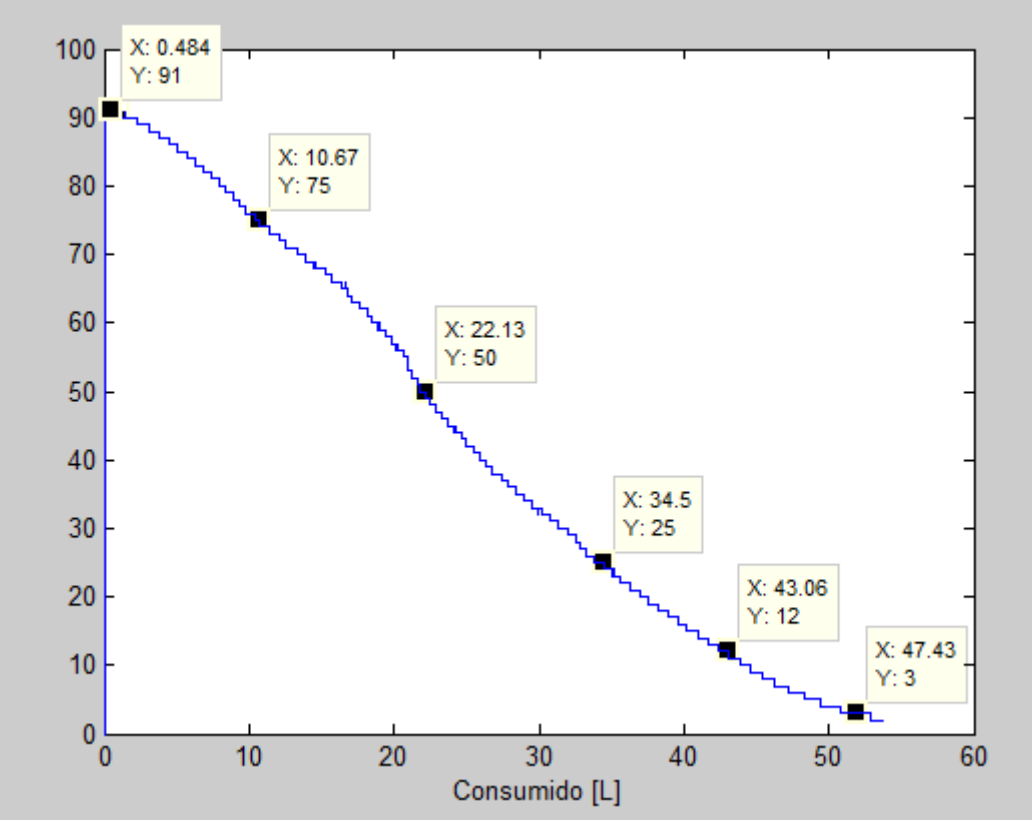

Figura 48 - Consumido [L] x Indicação de Nível [%].

O teste executado possui uma particularidade onde o veículo estava com 91,8% do tanque cheio, ou seja, possuía 49,57L remanescentes (4,43L consumidos). Neste caso o consumo teve o seu zero a 91,8%. Com isso ao valor do consumo obtido do

gráfico da Figura 48 foi acrescido de 4,43L para indicar o consumo exato no instante.

Baseado nos dados acima pode-se confrontar o *Template* definido anteriormente, Tabela 5, com os resultados apontados pelo gráfico da Figura 48. Obtendo o resultado demonstrado na Tabela 6.

%	Indicação	Consumo Real [L]	Consumo Previsto [L]	Erro [L]
100%	Cheio	-	0,00	-
75%	¾	15,01	13,50	1,60
50%	½	26,56	27,00	0,44
25%	¼	38,93	40,50	1,57
12%	Reserva	47,49	47,52	0,03
4%	Vazio	51,86	51,84	0,02

Tabela 6 - Marcação vs. Consumido

Utilizando a Tabela 6 pode-se determinar se o resultado obtido na simulação está conforme o esperado e dentro do erro admissível (menor que 3 litros).

No caso ilustrado pela Tabela 6 podemos definir que a calibração definida está dentro do esperado, uma vez que o erro máximo foi de 1,43L. Porém, se o resultado obtido apresentasse um erro maior que 3L ou caso o avaliador desejasse uma calibração mais precisa (menor desvio entre o consumo real e o previsto) seria necessário fazer uma alteração nos valores das regiões específicas melhorando ainda mais a precisão da indicação.

Depois de realizado o teste virtual deve ser feita uma verificação e conseqüente validação em veículo de forma a confrontar o resultado obtido na simulação vs. o real.

Faz-se necessário a validação veicular, uma vez que o trajeto simulado foi retirado de apenas uma rodagem de um veículo em estudo e na prática o combustível presente no tanque não repete o mesmo comportamento num mesmo trajeto para o mesmo veículo.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho tem como objetivo criar uma literatura, hoje muito escassa, sobre o funcionamento e história dos marcadores de nível de combustível desde a utilização de lâminas bi metálicas até o uso do micro controlador. Aspectos importantes para o projeto do tanque de combustível foram apresentados através de pontos positivos e negativos em cada *design* a ser considerado.

Conclusão 01: a forma geométrica do tanque é um dos fatores chave na determinação da complexidade em determinar o nível. Não importando o material a ser utilizado, mas devem-se tomar precauções para evitar a criação de bolsões e garantir que a bóia fique posicionada no centro geométrico do tanque.

Conclusão 02: a bóia deve ter sua forma projetada para que o ponto de equilíbrio esteja o mais próximo possível da base inferior do tanque, a forma mais recomendada é a retangular, conforme ilustrada pela Figura 25. Alternativas é a construção de um pequeno rebaixo para acomodar a bóia quando próximo do nível inferior, Figura 26.

Conclusão 03: outro objetivo cumprido desta dissertação foi a elaboração de um simulador virtual do marcador de combustível, para auxiliar na determinação dos pontos de interpolação que serão gravados na memória EEPROM do Painel de Instrumento fazendo com que o marcador indique os valores corretos para dada quantidade de combustível presente no tanque. Este simulador foi desenvolvido em MATLAB, como explicado no capítulo 4 desta dissertação, e o seu resultado foi satisfatório, com um erro máximo de 4% em relação ao real.

Mesmo que a simulação seja feita de maneira precisa isso não evitará que testes reais (rodar um veículo com a calibração definida no simulador) seja realizada para avaliar o comportamento real.

6 PROPOSTAS FUTURAS

A utilização de informações do módulo eletrônico de controle do motor. O módulo pode fornecer a quantidade exata de combustível utilizado no instante e com isso melhorar a precisão a marcação.

A Figura 49 ilustra duas das maneiras possíveis de utilizar o módulo eletrônico de controle do motor (ECU).

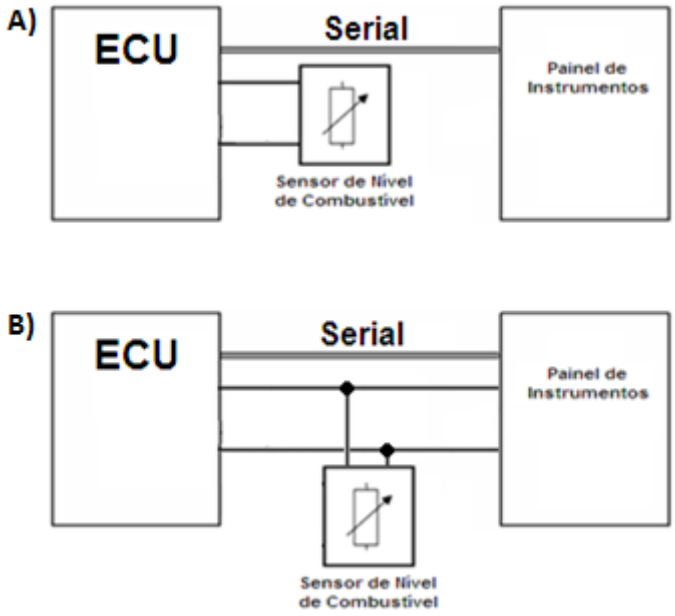

Figura 49 - Marcação do Nível de Combustível utilizando o módulo eletrônico de controle do motor (ECU – *Engine Control Unit*).

No item “A” da Figura 49 a ECU é responsável em ler a resistência do sensor de nível do tanque de combustível e através da linha serial transmite ao marcador. Usando esse processo a ECU realiza a medição do tanque enquanto o veículo estiver em repouso e depois passa a utilizar a informação de consumo instantâneo para subtrair do valor anterior, esse procedimento pode ser ilustrado pela fórmula 4.

Com isso o módulo do motor também fica responsável em detectar o reabastecimento do veículo.

$$Volume(t) = Volume(t-1) - [Consumo\ Instantâneo] \quad (4)$$

No item “B” o sensor de nível e a ECU estão ligados ao marcador e o painel de instrumentos necessita de um algoritmo que trabalhe com as duas informações simultaneamente ou não. A ligação do sensor de nível com a ECU ainda se faz necessário, pois os carros flex (carros que podem utilizar tanto gasolina como álcool, misturados ou sozinhos) necessitam saber quando o veículo foi reabastecido para iniciar o processo de identificação do tipo de combustível colocado.

Essas são algumas das propostas que podem ser trabalhadas com o intuito de melhorar a marcação de nível de combustível presente no tanque. Outras soluções utilizando outros tipos de sensores são explicadas no Anexo I desta dissertação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

[1] SUZUKI, C. Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiro dentro da General Motors do Brasil. São Paulo, 2007 119p Dissertação (Mestrado Profissional) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

[2] BOSCH, R. "Manual de tecnologia automotiva". São Paulo; SAE – *Society of Automotive Engineers*, 2005; 1232p.

[3] Pesquisa sobre Tanques de combustível plástico, disponível em: <http://www.plasfuelsys.org>. Acesso em fevereiro 2009.

[4] *Engine Mechanics* - Pesquisa sobre medidores e marcadores de combustível, disponível em: <http://www.tpub.com/basae/57.htm> Acesso em janeiro 2009.

[5] GUIMARÃES, A. A. Eletrônica Embarcada em Automóveis. Disponível em: <http://www.pcs.usp.br/~laa/Grupos/EEM/>. Acesso em fevereiro 2009.

[6] LINDSAY, B. Lower cost, lighter weight solutions highlight the 2008 SPE Automotive Innovation Awards. *Automotive Engineering*, n. 12, p. 22, dec. 2008.

[7] BONATTI, I. S.; PERES, P. L. D.; BORELLI, W. C.; BURRIAN Jr., Y.; ADDY, M. D. Circuitos elétricos I (EA513). Disponível em: <http://www.dt.fee.unicamp.br/~www/ea513/node86.html>. Acesso em fevereiro de 2009.

[8] AKISHINO, A. S.; FRNANDES, T. S. P. MANUAL DIDÁTICO: Introdução a Circuitos Elétricos. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/thelma/Capitulo2.pdf>. Acesso em março de 2009.

[9] MARTINEC, R. C. "*Use of Microcomputer in an Electronic Fuel Gauge Module*". SAE – "*Society of Automotive Engineer".* (Artigo SAE 800350, 1980. Nr. SAE SP-80).

[10] GARRISON, J. R.; HALZELGREEN, A. "*Fuel Gauge Damper Circuit with a Return Zero Gauge Circuit*". US Patente Nr. 5027656, 1991.

[11] HYUN, B. K.; IN, S. S.; YOUNG, C. C.; HAN, M. K. "*Fuel Level System for Automobile*". US Patente Nr. 6945108-B2, 2005.

[12] ZORZETO Jr., E. V.; HAUSCH, E.; DOMINGUES, F.; POGGETTO, G.; ROSA, L.; BARBOSA, M. Painel de Instrumentos. Trabalho desenvolvido para a disciplina Engenharia do Valor (PME5601), São Paulo, 2007. Trabalho não publicado.

[13] POVOA, R. Aplicação do Protocolo "KW2000" para Leitura de Dados Disponíveis no Módulo de Controle do Motor de Veículo Popular. São Paulo, 2007 69p Dissertação (Mestrado Profissional) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

[14] Pesquisa sobre equipamentos de diagnose para montadoras. Disponível em <http://www.vetronix.com/>. Acesso em fevereiro de 2009.

[15] ALVARADO, P. J. "*Steel vs. Plastics: The competition for light-vehicle fuel tanks*" JOM, USA 1996, vol. 48, n°7, p 22-25.

[16] ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F. *A Universal and Cost-Effective Fuel Gauge Sensor Based on Wave Propagation Effects in Solid Metal Rods*.

[17] Pesquisa sobre tanque de combustível plástico. Disponível em: <http://www.mfrural.com.br>. Acesso em abril de 2009.

[18] NAVARENHO, L. *Benchmarking: Ford Ka, New Fuel System*, São Caetano do Sul, 2008, 14p. Comparativo entre Ford Ka modelo 2000 e o modelo 2009 para General Motors do Brasil. Trabalho não publicado.

[19] BRITO, F.; *Expected Fuel Gauge Performance given MRA Design*, São Caetano do Sul, 2007, 18p. (Pesquisa para General Motors do Brasil. Trabalho não Publicado).

[20] Pesquisa sobre marcadores de combustível já desenvolvido. Disponível em: <http://aplic.vdo.com.br/catalogoprodutos/USER/userHome.aspx>. Acesso em maio de 2009.

[21] GAVEL, H.; *Aircraft fuel system conceptual design*, Division of Mechanic Design and Department of Mechanical Engineering; Linköping University, 2004.

ANEXO I

Nesta dissertação abortamos apenas o medidor de combustível utilizando uma bóia ligada a um potenciômetro, por ser o sistema mais antigo (barato) e utilizado pelas montadoras.

Porem a busca por outras maneiras de se realizar a medição com uma maior precisão faz com que pesquisadores estudem alternativos empregando diferentes sistemas de medição, como:

I.1 ***"A Universal and Cost-Effective Fuel Gauge Sensor Based on Wave Propagation Effects in Solid Metal Rods"*** (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

I.2 Funcionamento do Medidor de Combustível em aviões.

I.1 "A Universal and Cost-Effective Fuel Gauge Sensor Based on Wave Propagation Effects in Solid Metal Rods" (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

O artigo aborta sistemas de medições como:

- *Sensor Térmico*: composto basicamente por um filme resistivo montado sobre uma base flexível. Sensível a variação do nível de combustível a temperatura varia (a parte resistiva submersa no líquido esquenta mais lentamente que a parte exposta). Esse sistema necessita de uma eletrônica complexa tornando sua utilização difícil.

- *Sensor Capacitivo*: duas placas são montadas em paralelas, coaxial ou intercaladas com outros materiais. O sensor mede a capacitância e conforme a quantidade de líquido presente entre as placas faça com que o valor da capacitância varie. Alem da grande susceptibilidade a interferência eletromagnética este sistema sofre de diversos outros fatores que podem prejudicar a qualidade da medição como: a sensibilidade a aditivos de combustível, a formação de depósitos entre os sensores e especialmente a quantidade de água presente no combustível (por ser um poderoso dielétrico, alta constante dielétrico, ε).

- *Sensor Hidrostático*: pode ser aplicado mesmo em tanque que possua formas complexas, ele utiliza a diferença de pressão (Δp) entre o fundo e o topo do tanque de combustível.

$$\Delta p = \rho \, . \, g \, . \, h \tag{4}$$

  A diferença corresponde ao peso de uma hipotética coluna de fluido que vai do fundo ao topo do tanque, conforme a altura h do liquido ainda presente. Entretanto esse sistema não é muito aceito devido a dificuldade de encontrar um sensor de pressão de baixo custo com o ponto zero estabilizado. Uma alternativa seria desenvolver um sistema que realizasse automaticamente o ajuste do nível zero em intervalos periódicos.

- *Sensor Acústico*: se trata do principal assunto desse artigo. O sensor utiliza o método de medição do tempo de viagem de um pulso de ultrasom do topo ou da base do tanque a outra extremidade, com resultados fácies de serem digitalizados e processados. Existem diversos conceitos de utilização de sensores acústicos:

*Sensor de eco sem guia de som: e*xistem problemas que podem induzir ao erro na medição como: eco devido as paredes, ressonância do tanque e devido as formas complexas de hoje pode fazer com que não haja uma ligação direta entre o topo e o fundo do tanque.

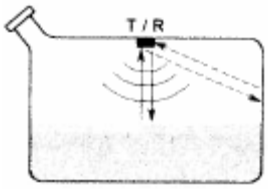

Figura 50 - Diagrama do eco do som sem guia de som (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

Sensor de eco com guia de som: uma ligação direta entre o topo e o fundo do tanque evitando assim a interferência do eco das paredes do tanque. Isso leva a designs no qual pulsos de som são conduzidos por tubos flexíveis com abertura para a entrada do fluido do tanque. Entretanto a susceptibilidade a medições errôneas se torna muito mais com esse tipo de conceito.

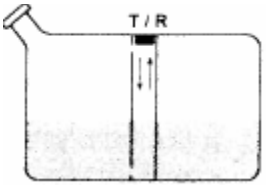

Figura 51 - Diagrama do eco do som com um guia de som (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

Propagação do som através de uma haste metálica: uma onda acústica responde de diferentes maneiras conforme o meio que submetido. Utilizando esse princípio foi desenvolvido um sensor que utiliza uma haste metálica em forma de U ou I para que se adéqüe da melhor maneira ao formato to tanque.

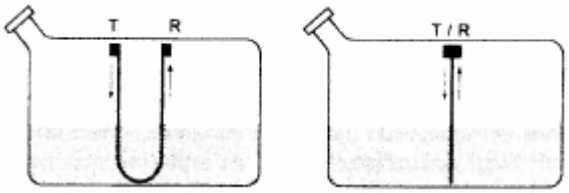

Figura 52 - Propagação dom som através de uma haste metálica em forma de U (esquerda) e I (direita) (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

A Tabela 7 mostra o comportamento de uma onda sonora quando submetida a diferentes meios:

Material	c_b / m/s	λ / cm	Z / Kg/(m^2.s)
Aço	580	2,23	$4{,}55 \cdot 10^6$
Alumínio	604	2,32	$4{,}63 \cdot 10^6$
Cobre	510	1,96	$4{,}54 \cdot 10^6$
Chumbo	290	1,1	$3{,}30 \cdot 10^6$
Água	-	5,69	$1{,}48 \cdot 10^6$
Gasolina	-	5,11	$1{,}16 \cdot 10^6$

Tabela 7 - Comprimento de onda λ, impedância da onda Z e a velocidade do som cb em uma lamina plana em diversos materiais com espessura de 1,5mm a uma freqüência de f=26Hz (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

Existem diversas maneiras para gerar o ultrasom porem o método utilizado um material piezo elétrico (quando aplicado uma tensão sobre suas extremidades a estrutura se dilata, esse movimento gera o ultrasom).

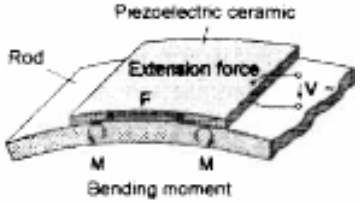

Figura 53 - Excitação através de um material piezo elétrico (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

O formato em U foi usado nesse experimento, pois assim teria duas extremidades sendo uma a emissora, T (excitação através da vibração do material piezo elétrico em uma freqüência constante ω) e a outra receptora, R (formado por outro material piezo elétrico no qual a pressão sobre ele gera uma tensão sobre suas extremidades).

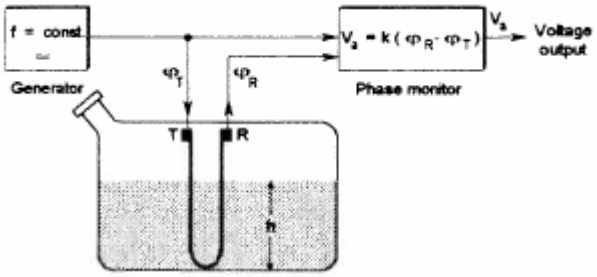

Figura 54 - Monitoramento do nível do tanque com um sensor em formato U (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

O sinal atravessa o sensor que possui parte de seu comprimento submerso no combustível presente no tanque. Conforme a quantidade de líquido presente no instante a fase do sinal é alterado.

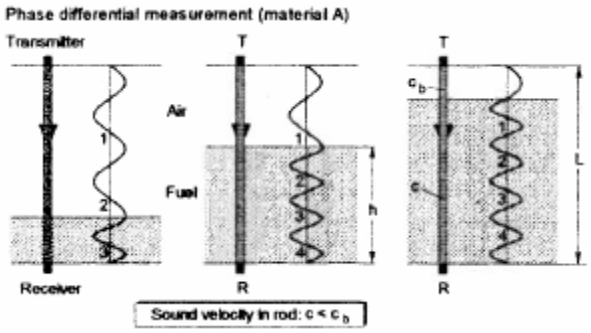

Figura 55 - Variação na fase do sinal emitido (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

O receptor calcula a variação da fase e baseado no valor obtido determina-se o nível de combustível presente, esse método chama-se método da Fase.

$$\Delta\Phi = \Phi(h) - \Phi_0 = \omega.h.(c^{-1} - c_b^{-1}) \quad (4)$$

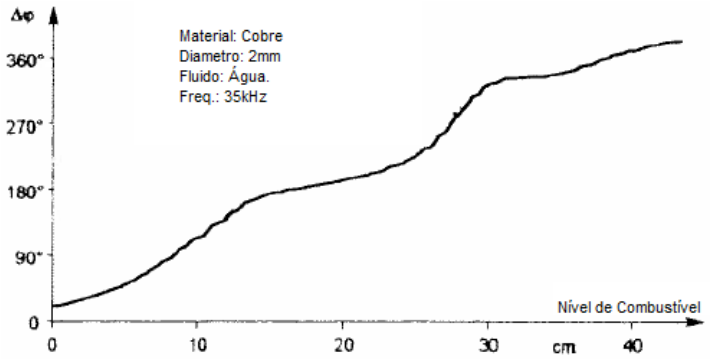

Figura 56 - Variação da fase do sinal conforme a quantidade de líquido presente no tanque (ZABLER, A.; DURAKART, A.; GREIN, N. e HEIMTZ, F.).

I.2 Funcionamento do Medidor de Combustível em aeronaves.

Utiliza sensores capacitivos distribuídos ao longo da asa (local do tanque de combustível, Figura 57) e com a utilização de um algoritmo determina-se a quantidade de combustível presente no tanque.

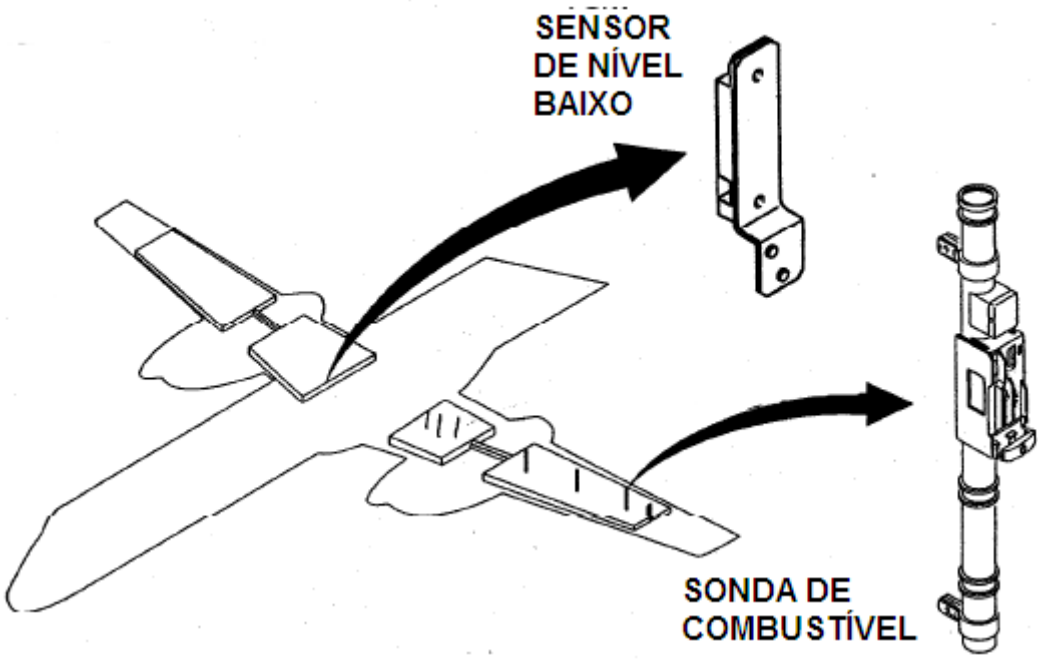

Figura 57 - Instalação da Sonda em uma aeronave (GAVEL, H.).

Segundo GAVEL, H. (2004), os sensores capacitivos medem a variação da constante dielétrica (K) entre o combustível. Com a alteração da quantidade de combustível presente no tanque a capacitância também varia, sendo possível estimar a quantidade de combustível. Um dos métodos de aproximação está sendo exemplificado na Figura 58.

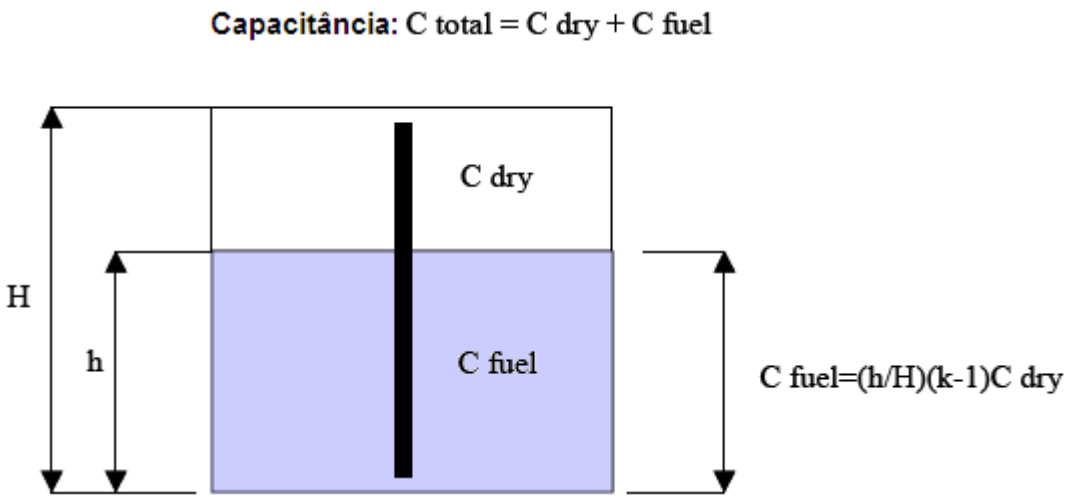

Figura 58 - Capacitância em função do nível de combustível (GAVEL, H.).

Sensores são distribuídos ao longo das asas e o computador de bordo, utilizando um algoritmo, traduz todos os valores medidos e informa ao piloto a quantidade exata de combustível presente no tanque.

Este método utilizado em aeronaves são muito confiáveis porem para a sua implementação em veículos automotivos se torna inviável devido aos altos custos relacionados ao sensor capacitivo.