

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

**CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CRITÉRIOS OBJETIVOS PARA MEDIÇÃO  
DE CONTROLES DE ACESSÓRIOS INTERNOS DE UM AUTOMÓVEL**

**São Caetano do Sul**

**2012**

**ADILSON APARECIDO DE OLIVIERA**

**CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CRITÉRIOS OBJETIVOS PARA MEDIÇÃO  
DE CONTROLES DE ACESSÓRIOS INTERNOS DE UM AUTOMÓVEL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Jones Egydio

**São Caetano do Sul**

**2012**

Oliveira , Adilson Aparecido

Criação de procedimentos de critérios objetivos para medição de controles de acessórios internos de um automóvel: um estudo baseado na transição de métodos de avaliação subjetivos para análise de dados objetivos / Adilson Aparecido de Oliveira. São Caetano do Sul, SP, 2012

53p.

Monografia— Especialização em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2010.

Orientador: Prof. Jonny Egídio

1. Controles – Acessórios. 2. Critérios Objetivos. 3. Avaliação Subjetiva.
- II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Centro de Educação Continuada. III. Título.

## **DEDICATÓRIA**

A Deus que torna tudo possível, ao meus pais, Dalcy de Oliveira e Teresa Soares de Oliveira; a minha esposa Celina e meus filhos Victor e Renata.

## **AGRADECIMENTOS**

A Ford Motor Company que viabilizou economicamente meu retorno a universidade, aos meus colegas de empresa que participaram deste projeto e em especial ao jovem eng. Geraldo Rodrigues, cuja motivação e empenho além do conhecimento técnico, permitiram a conclusão deste projeto.

## RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar os resultados de um estudo para a criação de procedimentos de critérios objetivos que servirão de base para a análise dos controles de acessórios internos de um automóvel e também compará-los aos resultados obtidos em avaliações subjetivas. O estabelecimento de padrões objetivos de avaliação, desde que não apresentem dificuldades técnicas e econômicas para sua adoção, podem melhorar a qualidade dos controles disponíveis nos veículos, tanto sob aspectos de conforto e ergonômicos quanto sob aspectos de segurança. Os dados coletados foram analisados utilizando ferramentas estatísticas e a hipótese inicial foi comprovada através de um alto grau de repetibilidade e baixo desvio padrão, o que permitiu que uma nova etapa tivesse início, ou seja, a análise dos dados sob a perspectiva do consumidor. No estágio atual do estudo foi possível concluir com sucesso o procedimento para avaliação do nível de suavidade com que uma chave rotativa é acionada. A avaliação subjetiva porém, mesmo sem apresentar os mesmos resultados quanto a repetibilidade e variações, ainda tem sua importância no processo de desenvolvimento do produto. É ela que serve de base durante os estudos para implementação de procedimentos com critérios objetivos, auxiliando no entendimento dos anseios do consumidor e convertendo-os em unidades de engenharia. Este estudo está em linha com a busca pela área da Engenharia Experimental por um novo espaço, em um cenário onde o desenvolvimento virtual tem ganho importância no projeto de novos produtos.

**Palavras-chave:** Critérios objetivos. Avaliação subjetiva. Anseios do Consumidor.

Engenharia Experimetal. Criatividade. LabView.

## ***ABSTRACT***

The objective this article is to present the results of a study for the establishment of procedures for objective criteria as a basis for the analysis of internal controls of a car accessories and also compare them to results obtained by subjective evaluations. The establishment of objective standards of assessment, once that they present technical and economic viability to its adoption, may improve the quality of available controls on vehicles, both in comfort and ergonomic aspects and also under security aspects. The data collected were analyzed using statistical tools and the initial hypothesis was confirmed by a high degree of repeatability and low standard deviation, which allowed to have the project move forward for a new stage, what means, the data analysis from the perspective of the consumer. At the current stage of the study it was possible to successfully complete the procedure for assessing the level of smoothness with which the rotary switch is turned on. Subjective evaluation but even without presenting the same results as the repeatability and variations, still has its importance in the process of product development. It is who serves as the basis for the implementation of procedures for studies with objective criteria, aiding the understanding of the desires of consumers and converting them into engineering units. This study is in line with the pursuit of Experimental Engineering area for a new space, in a scenario where the virtual development has become increasingly important in the design of new products..

***Keywords:*** Objective criteria. Subjective evaluation. Consumer desires. Experimental Engineering. LabView.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processo de correlação entre Consumidor e Campo de Provas .....	14
Figura 2 – Localização do Ponto H .....	16
Figura 3 – Dispositivo antropométrico construído de acordo com a norma SAE J4002.....	17
Figura 4 – Posição dos manequins para a realização de ensaio de impacto .....	17
Figura 5 – Comportamento dinâmico previsto para o manequim durante um impacto .....	18
Figura 6 – Comportamento do manequim durante um ensaio real.....	18
Figura 7 – Robo Ruth vista geral .....	20
Figura 8 – Robo Ruth.....	21
Figura 9 – Casa da Qualidade .....	22
Figura 10 – Botões rotativos .....	23
Figura 11 – Controle de posição dos retrovisores externos .....	24
Figura 12 – Botões rotativos (Sistema de ar condicionado) .....	24
Figura 13 – Botões rotativos (Sistema de ar condicionado) .....	24
Figura 14 – Botões rotativos (Sistema de ar condicionado) .....	25
Figura 15 – Potenciômetro multivoltas .....	25
Figura 16 – Detalhes construtivos de um potenciômetro.....	25
Figura 17 – “ <i>Strain Gauge</i> ” para medição de torque .....	26
Figura 18 – Aplicação do “ <i>Strain Gauge</i> ” .....	27
Figura 19 – Construção do “ <i>Strain Gauge</i> ” .....	27
Figura 20 – Limite de proporcionalidade (Lei de Hook) .....	28
Figura 21 – Transdutor de pressão a base de “ <i>Strain Gauge</i> ” .....	29
Figura 22 – Transdutor de torque a base de “ <i>Strain Gauge</i> ” .....	29
Figura 23 – Transdutor de torque: Tubo.....	30
Figura 24 – Transdutor de torque: Eixo Maciço.....	30
Figura 25 – Chave de fenda instrumentada .....	31
Figura 26 – Sistema de aquisição de dados “ <i>Spider</i> ” da HBM .....	31
Figura 27 – Sistema de aquisição de dados “ <i>MGC Plusr</i> ” da HBM .....	32
Figura 28 – Sistema de Aquisição de dados: Fluxo dos dados .....	32
Figura 29 – Dado discretizado no tempo.....	33
Figura 30 – Filtro “ <i>anti-aliasing</i> ” .....	33
Figura 31 – Forma gráfica para apresentação dos dados .....	34
Figura 32 – Veículo 1 .....	34
Figura 33 – Medições do veículo 1 .....	34
Figura 34 – Veículo 2.....	34

Figura 35 – Medições do veículo 2 .....	34
Figura 36 – Veículo 3.....	35
Figura 37 – Medições do veículo 3 .....	35
Figura 38 – Exemplo de influência de equipamento nos resultados de uma medição .....	36
Figura 39 – Exemplo de influência dos operadores nos resultados de uma medição .....	36
Figura 40 – Manequim masculino, percentil 50% .....	39
Figura 41 – Dispositivo para medição de torque e ângulo.....	40
Figura 42 – Dispositivo para medição de torque e ângulo.....	40
Figura 43 – Dispositivo para medição de torque e ângulo .....	40
Figura 44 – Motor de corrente contínua .....	41
Figura 45 – Potenciômetro para medição de ângulo .....	41
Figura 46 – Sistema de aquisição de dados da National Instruments .....	41
Figura 47 – Software LabView da National Instruments.....	42
Figura 48 – LabView: Lingagem Gráfical .....	42
Figura 49 – LabView: Exemplo de instrumento virtual.....	43
Figura 50 – Módulo NI9237.....	44
Figura 51 – Módulo NI9234.....	44
Figura 52 – Módulo NI R/O-9263 .....	44
Figura 53 – Conversão de dados analógicos para digitais .....	45
Figura 54 – Exemplo da dado aquisitado com duas vezes a frequência do sinal.....	45
Figura 55 – Exemplo da dado aquisitado com 10 vezes a frequência do sinal.....	46
Figura 56 – LabView controlando um motor de corrente contínua .....	46
Figura 57 – LabView controlando um motor de corrente contínua .....	46
Figura 58 – Projeto usando o LabView: Geral .....	47
Figura 59 – Projeto usando o LabView: “Offset”.....	47
Figura 60 – Conexão do transdutor de ângulo ao sistema .....	48
Figura 61 – Final de curso da chave rotativa .....	48
Figura 62 – Inversão do sentido de rotação do motor .....	48
Figura 63 – Gráfico torque vs ângulo .....	49
Figura 64 – Gráfico mostrando valores de torque e ângulo separadamente .....	49
Figura 65 – Curva real versus curva gerada pela fórmula da “Suavidade” .....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Guia para aplicação de notas para avaliação subjetiva .....	12
Tabela 2 – Exemplo de planilha para avaliação subjetiva .....	13
Tabela 3 – Planilha com as notas obtidas.....	14
Tabela 4 – Cálculo gerado pelo Minitab para o primeiro experimento.....	37
Tabela 5 – Engenharia do Valor: Verbo + Substantivo.....	38
Tabela 6 – Cálculo gerado pelo Minitab para o primeiro experimento.....	50
Tabela 7 – Tabela para cálculo de suavidade.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AE	Análise do Valor
DC	<i>Direct Current</i>
EV	Engenharia do Valor
HBM	<i>Hottinger Baldwin Messtechnik</i>
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
R&R	Repetibilidade e Reprodutividade
SAE	Society of Automotive Engineers

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa.....	14
1.2 Objetivo geral do trabalho.....	15
1.3 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Ergonomia.....	15
2.2 Antropometria.....	16
2.3 Controle dos Acessórios.....	18
2.3.2 Tipos de Controles.....	19
2.4 Estudos existentes no mundo sobre acionadores.....	20
2.4.1 Conversão de de percepções do cliente em unidade de engenharia.....	22
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Definição sobre como medir os parâmetros selecionados.....	25
3.1.1 Medindo torque com “ <i>strain gauge</i> ”.....	29
3.1.2 O sistema de aquisição de dados.....	31
3.2 Realizando as primeiras medições.....	34
3.2.1 Validação dos dados obtidos.....	35
4 MELHORIA DO PROCESSO APRESENTADO.....	37
4.1 Localização dos acionadores.....	38
4.2 Medição dos demais parâmetros.....	39
4.3 Validação dos dados obtidos.....	49
4.3.1 Análise dos dados obtidos.....	50
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

## INTRODUÇÃO

Para garantir que as avaliações subjetivas dos controles dos acessórios apresentassem dados representativos foram criados procedimentos para guiar a análise, possibilitando o estabelecimento de notas durante a avaliação destes dispositivos. Aspectos ergonômicos passaram a ser considerados e a dificuldade para alcançar os botões e acioná-los refletidos na nota final. Partindo do princípio que o processo é confiável, comparações poderiam ser realizadas entre os veículos selecionados, de um mesmo segmento, tendo por base os mesmos critérios.

As notas deveriam refletir a “expectativa do cliente”, o que já em princípio torna o processo mais difícil, pois esta “expectativa” pode variar dependendo do segmento para o qual se destina o veículo ou mesmo para o mercado (país) que se destina o veículo.

Um exemplo do guia estabelecido para a aplicação de notas durante as realização das avaliações subjetivas pode ser visto na Tabela 1.

Índice de Classificação de Engenharia	Esperado por 90% dos consumidores									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Avaliação do desempenho do atributo	Não aceitável	Pobre	Limítrofe	Aceitável	Justo	Bom	Muito Bom	Excelente		

**Tabela 1** - Guia para aplicação de notas para avaliação subjetiva

**Fonte:** Ford (2011)

Além do mencionado acima, avaliação subjetiva depende de muitos outros fatores o que torna sua eficiência questionável.

Em uma avaliação subjetiva muitos parâmetros são considerados e combinados de maneira intuitiva. Esta interação acaba resultando em um único parâmetro que será então descrito como resultado da análise. Antes da amostra ser tocada, o desenho do controle pode influenciar o resultado dependendo se o desenho do componente agrada ou não o avaliador. E ainda, quando o controle é tocado, sua textura e temperatura exercem influência no processo de análise e só depois de tudo isto é que, então, o botão será girado. Outros fatores, como por exemplo, dados antropométricos, se o avaliador é do sexo feminino ou masculino, ou mesmo idade, origem, formação, tem influência sobre o resultado da avaliação.

Na fase adulta os homens apresentam os ombros mais largos, o tórax maior, com clavículas mais longas e escápulas mais largas, com as bacias relativamente estreitas. As cabeças são maiores, os braços mais longos e os pés e mãos são maiores. As mulheres têm ombros relativamente estreitos e tórax menores e mais arredondados, com as bacias mais largas. As diferenças de estaturas entre homens e mulheres são de 6 a 11% (IIDA, 2005,p.98 e 99).

Outro exemplo que pode ser mencionado é o conforto como uma característica dependente do tempo. Como exemplo disto o botão de acionamento do vidro da porta de um veículo pode ser mencionado, onde o sistema que requer apenas um toque no botão apresenta um resultado melhor nas avaliações subjetivas que o sistema que necessita que o botão seja pressionado até o fechamento total dos vidros. No segundo caso o avaliador, devido ao tempo de acionamento do botão, pode ter o falso entendimento que a velocidade de fechamento não é adequada e que haveria a necessidade de trocar o motor do vidro por um mais potente.

Dentro deste processo, com objetivo de termos uma avaliação mais robusta, vários veículos foram analisados de maneira que comparações pudessem ser feitas e auxiliassem no julgamento.

Dentre os veículos analisados um deles foi escolhido, com base em pesquisa de mercado, como sendo o que apresentava resultados que mais se aproximavam dos anseios do cliente, no atributo a ser avaliado e foi chamado desta forma de veículo referência, como pode ser visto na Tabela 2 e os demais, propostas diferentes para um modelo novo.

Item a ser avaliado	Veículo referência	Veículo # 1	Veículo # 2	Veículo # 3
<b>Botão Liga / Desliga do AC</b>				
<b>Controle de temperatura do AC</b>				
<b>Controle de velocidade do ventilador do AC</b>				

**Tabela 2** - Exemplo de planilha para avaliação subjetiva

**Fonte:** Ford (2011)

Inicialmente o controle de velocidade do ventilador do sistema de ar condicionado foi avaliado e os resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Item a ser avaliado	Avaliador	Veículo referência	Veículo #1	Veículo #2	Veículo #3
Controle de velocidade do ventilador do AC	1	8	6	9	5
	2	5	3	5	4
	3	4	7	4	6
	4	5	5	8	6
	5	8	5	6	4
	6	9	8	9	8
	7	7	3	5	4
	8	7	5	7	4
	9	5	6	6	3
	10	4	3	6	4

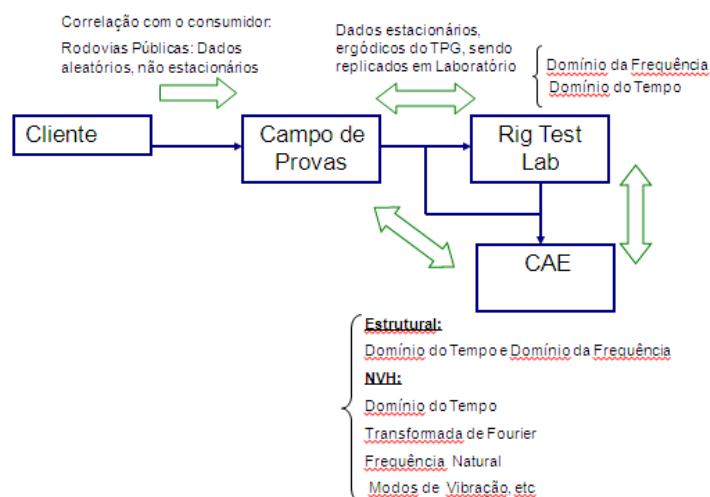
**Tabela 3** - Planilha com as notas obtidas

**Fonte:** Ford (2011)

Pelas diferentes notas obtidas para um mesmo controle, questionamentos foram levantados quanto aos dados antropométricos dos avaliadores, uma vez que a facilidade em alcançar o referido botão era algo a ser considerado na avaliação. Porém no caso em questão os referidos dados não foram anotados durante o processo de avaliação.

### 1.1 Justificativa

Com base no exposto acima e no princípio que o desenvolvimento baseia-se, sempre que possível, em dados objetivos obtidos em condições similares as encontradas pelos clientes e replicadas em ambientes controlados, cujos dados gerados são analisados tanto no domínio do tempo quanto da frequência, como descrito por Richard G. Lyons (2001) e como pode ser visto na figura 1.



**Figura 1**- Processo de correlação entre Consumidor e Campo de Provas

**Fonte:** Richard G. Lyons (2001)

## 1.2 Objetivo geral do trabalho

O objetivo deste estudo é que as variáveis sejam as mesmas para todos os veículos analisados e que dados confiáveis, com um nível de R&R (Repetibilidade e Reprodutividade) dentro dos padrões estabelecidos pela engenharia da empresa sejam obtidos, ponto crucial para o estabelecimento de critérios para a análise dos dados e pareceres conclusivos possam ser emitidos.

## 1.3 Objetivos específicos

A resposta ao comando de diferentes acionadores será estudado, começando pelos acionadores rotativos de maneira que futuros projetos e ensaios de validação tenham parâmetros definidos para sua avaliação. Como exemplo dos parâmetros que serão medidos o torque necessário para acioná-los e o ângulo entre um estágio e outro podem ser mencionados.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Ergonomia

Em todo projeto onde a interação homem e equipamento ocorrer, características físicas, gênero, fisiológicas, psicológicas, idade e sociais devem ser consideradas no estudo (Lida, Itiro, 1990, p.1).

A palavra Ergonomia tem origem da junção das palavras gregas *ergo* que significa trabalho e *nomos*, significando normas, regras ou leis (Trabalho de Mestrado, José Lama, Cila, 2009).

A associação internacional de ergonomia adotou a seguinte definição: A Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA, 2000).

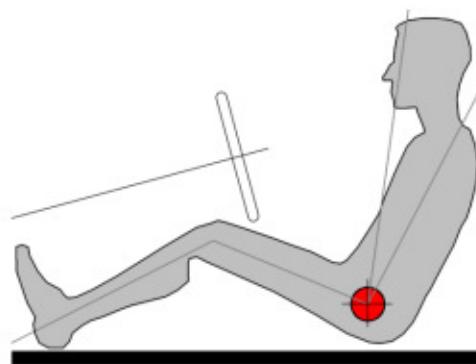
## 2.2 Antropometria

Ainda dentro do mencionado por Itiro Lida (1990) a antropometria, que é um braço da ergonomia que estuda as dimensões e pesos do corpo humano, também deve ser considerada durante o desenvolvimento de novos projetos.

O Peso na antropometria é definido como a força exercida pelo ser humano na balança em kgf (ABNT – NBR 6068, p.1, 1979). A estatura é a medida vertical da pessoa na posição ortostática (de pé) (ABNT – NBR 6068, p.1, 1979). Assim, o manequim 50% (cinqüenta percentil) representa o homem com estatura de 1,735 m para a faixa etária de 18 a 79anos. Isto significa que 50% da população masculina adulta está abaixo desta estatura e também 50% da população masculina adulta está acima desta estatura. A mesma interpretação pode-se fazer para os demais manequins. Por exemplo, o manequim 95% (noventa e cinco percentil), representa o homem com estatura de 1,85 m, que significa que 95% da população masculina adulta está abaixo desta estatura e somente 5% da opulação masculina adulta supera esta estatura. (trabalho de mestrado, José Lama, 2009)

Com base no exposto acima a localização dos controles dos acessórios deve levar em consideração, a posição do motorista e consequentemente do banco onde o mesmo está posicionado.

Desta forma foi adotado o estabelecimento de uma posição fixa para o banco, de maneira que as variáveis que influenciam no resultado das análises fossem reduzidas. Posição fixa esta, definida como posição de *Design*, tem o ponto H como referência, sendo o Ponto H o centro de articulação da linha de centro do tronco com a linha de centro das pernas na posição sentada, como pode ser visto na figura 2 abaixo.



**Figura 2 - Localização do Ponto H**

**Fonte:** Messring (2009)

Para que o posicionamento do banco nesta posição fosse possível, um dispositivo antropométrico, como pode ser visto na figura 3, chamado de Oscar, foi desenvolvido e a norma SAE J4002 criada, tendo todos os aspectos construtivos nela definidos.



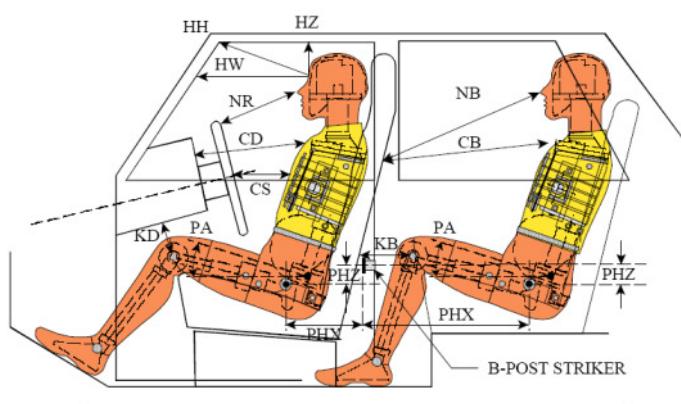
**Figura 3:** Dispositivo antropométrico construído de acordo com a norma SAE J4002

**Fonte:** ICBC (2009)

A posição do ponto H é relativa ao assoalho do veículo e afeta o conforto do ocupante, com relação a visibilidade, posicionamento das pernas, acesso aos controles, etc.

O ponto H tem, de maneira bastante significativa influência sobre o projeto do veículo influenciando a altura do teto, facilidade de entrada e saída do veículo e também com relação a segurança oferecida pelo veículo aos ocupantes. Desta forma durante um ensaio para avaliação de segurança veicular, de acordo, por exemplo, com a NBR 15300-1, impacto frontal, o manequim utilizado para a avaliação é também posicionado de maneira que o seu quadril fique dentro das coordenadas do Ponto H, como pode ser visto na figura 4 abaixo.

**Figure 12 – SID Longitudinal Measurements**



**Figura 4:** Posição dos manequins para a realização de ensaio de impacto

**Fonte:** Messring (2010)

O posicionamento dos manequins tem influência direta no comportamento dinâmico, como mostrado na figura 5, quando submetido a um ensaio como o mostrado na figura 6.



**Figura 5** - Comportamento dinâmico previsto para o manequim durante um impacto

**Fonte:** Messring (2009)



**Figura 6** - Comportamento do manequim durante um ensaio real

**Fonte:** Redlake (2009)

### 2.3 Controles dos acessórios

Com o aumento de itens de conforto e entretenimento disponíveis no interior do veículo o número de botões e chaves tem aumentado na mesma proporção e isto afeta o acabamento interno do veículo e também demanda a criação de critérios que permitam a avaliação, sob a ótica da ergonomia.

### 2.3.2 Tipos de Controles

Em um veículo são encontrados inúmeros tipos de controles, dos mais diversos sistemas e os seguintes exemplos podem ser mencionados:

- Acionador do ventilador do Ar condicionado;
  - Rotativo;
  - Deslizante;
  - *“One touch”* (um toque);
  - Direção do ar (cabeças, pés, Parabrisa);
- Acionador dos vidros das janelas;
- Acionador do teto solar;
- Acionador dos faróis;
  - Lanternas;
  - Farois (alto, baixo e neblina);
  - Ângulo do facho de luz;
- Parabrisas;
  - Limpador Dianteiro;
  - Limpador Traseiro;
  - Esguicho dianteiro;
  - Esguicho traseiro;
  - Sensor de chuva;
  - Desembaçador;
- Acionador do sistema que ajusta a posição do banco;
  - Longitudinal;
  - Vertical;
  - Lombar;
  - Inclinação;

- Aquecimento;
- Controle dos retrovisores externos;
- Controle de câmeras que auxiliam no estacionamento;
- Acionador do sistema de audio;
  - Liga / Desliga;
  - Selecionar sistema: Rádio / CD / USB / “*Bluetooth*”;
  - Selecionar estação / Faixa do CD / Arquivo do dispositivo conectado ao USB;
  - Volume;
- Acionador do sistema de controle de velocidade automático;
- Acionador do sistema de navegação;

## 2.4 Estudos existentes no mundo sobre acionadores

Engenheiros da Ford que trabalham no Centro de Desenvolvimento em Aachen, Alemanha usaram um robo, como pode ser visto nas figuras 7 e 8, para o aprimoramento do interior dos veículos em desenvolvimento, como exemplo podem ser mencionados os veículos Ford Focus e Ford Fiesta como os primeiros beneficiados por esta tecnologia.



**Figura 7** - Robo Ruth vista geral

**Fonte:** Ford (2011)



**Figura 8 – Robo Ruth**

**Fonte:** Ford (2011)

Este robo, chamado de Ruth, acrônimo das palavras em Inglês “*Robotized Unit for Tactility and Haptics*” ou “Unidade Robotizada para Tatilidade e Hápтика” em português, é equipado com recursos para realizar avaliações tri-dimensionais resultantes do contato entre o ser humano e o controle sob análise.

Segundo Eileen Franko, Supervisor da Ford para a área de Acabamentos Internos, qualidade é algo que é difícil de expressar, mesmo quando consumidores tem a oportunidade de sentar-se ao banco de um veículo com um preço acima de R\$100.000,00. Eles sabem que o veículo é especial pelo toque no painel, nos botões e nos acabamentos internos. O que é sentido durante o toque e o entendimento de qualidade estão ligadas intimamente as características humanas.

O Robo Ruth possui 6 juntas, programado para tocar os revestimentos dos painéis e portas, girar e apertar botões e interagir com todos os componentes do interior do veículo da mesma maneira que um ser humano e além disto o dispositivo consegue quantificar características tais como, suavidade, aspereza, temperatura além do torque e ângulo necessários para acionar determinado botão, apresentando dados relativos ao posicionamento do controle em relação ao motoristas, por exemplo. A vantagem deste método tem sobre a uma avaliação humana é que, os resultados apresentados por este não são influenciados por inúmeras variáveis e desta forma os engenheiros puderam tomar as percepções de calor,

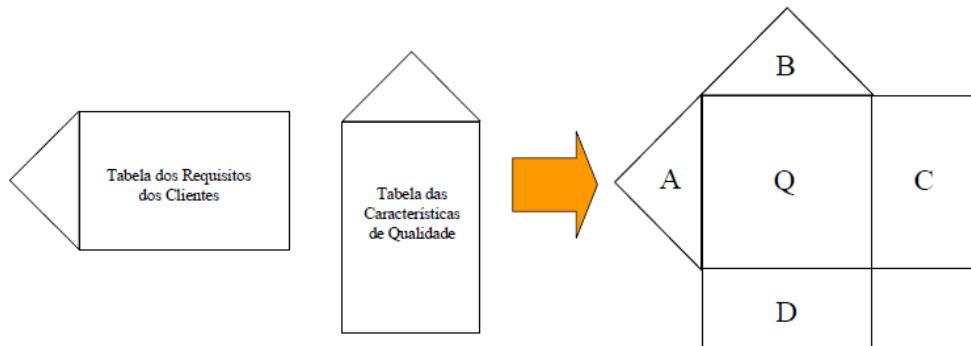
suavidade, entre outras, e convertê-las em unidades de engenharia e estabelecer objetivos para o atributo sob análise.

De acordo com Mark Spingler, especialista em acabamentos internos da Ford, foram analisados os resultados de uma clínica com clientes para avaliar diferentes propostas de volantes e os resultados foram comparados com os dados obtidos pelo robo Ruth. Ainda segundo Mark Spingler, uma correlação de 80% já seria estatisticamente significativa. Porém, as leituras de Ruth indicando quais seriam os volantes mais atraentes para os clientes foram de 92% precisas, o que foi considerdo notável.

#### 2.4.1 Convertendo percepções do cliente em unidade de engenharia

Uma ferramenta utilizada para a conversão dos requisitos do consumidor em características de qualidade do produto é o QFD, acrônimo para “Emprego da Função Qualidade” (*Quality Function Deployment*) ou através de desdobramentos sistemáticos das relações entre os requisitos do consumidor e as características do produto. Esta ferramenta foi introduzida no Japão em 1966 por Yoji Akao e adotada pelas montadoras japonesas inicialmente. O objetivo principal é auxiliar o time de desenvolvimento a incorporar no projeto as reais necessidades dos clientes. Por meio de um conjunto de matrizes parte-se dos requisitos expostos pelos clientes e realiza-se um processo de “desdobramento” transformando-os em especificações técnicas do produto.

Dentre as matrizes utilizadas pela ferramenta QFD, a casa da Qualidade é sem dúvida a mais utilizada. Ela permite a Transformação ou “desdobramento” dos anseios do cliente em especificação técnica, como pode ser observado na figura 9.



**Figura 9:** Casa da Qualidade

**Fonte:** Instituto Federal, Santa Catarina (2009)

O triângulo “A” e a aba “C” compõem a tabela dos requisitos dos clientes, o triângulo “B” e a aba “D” compõem a tabela das características de qualidade e o quadrado “Q”, interseção das duas tabelas, é chamado de “matriz de relações” (Instituto federal, Santa Catarina, 2009).

Este “desdobramento” da função qualidade apresenta como fundamento básico a idéia de que os produtos ou serviços devem ser projetados para satisfazer os desejos dos consumidores e para isso devem ser formadas equipes interfuncionais desde os primeiros passos da “criação do produto”.

### 3 METODOLOGIA

Como base para o início do desenvolvimento foi selecionado o botão rotativo, mostrado na figura 10.



**Figura 10:** Botões rotativos (Sistema de ar condicionado)

**Fonte:** Honda Fit (2010)

Esta escolha dentre os demais acionadores foi em decorrência deste tipo ser o mais utilizado no novo modelo em desenvolvimento, como pode ser visto nas figuras 11 e 12.



**Figura 11:** Controle de posição dos retrovisores externos

**Fonte:** Ecosport 2013



**Figura 12:** Botões rotativos (Sistema de ar condicionado)

**Fonte:** Ecosport 2013

Também pesou na decisão o fato de também ser o modelo de controle mais usual entre os veículos existentes no mercado, como pode ser visto nas figuras 13 e 14 e que seriam também analisados.



**Figura 13:** Botões rotativos (Sistema de ar condicionado)

**Fonte:** Duster 2012



**Figura 14:** Botões rotativos (Sistema de ar condicionado)

**Fonte:** IX35 2012

O torque e ângulo foram os parâmetros escolhidos para serem os variáveis que recebem mais comentários dos avaliadores durante as avaliações subjetivas

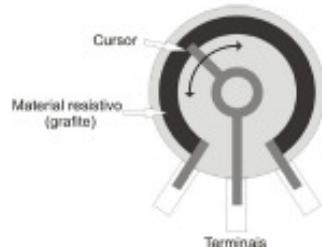
### 3.1 Definição sobre como medir os parâmetros selecionados

Para medição do ângulo necessário para acionar a chave rotativo foi selecionado o potenciômetro multivoltas mostrado na figura 15, cujos detalhes podem ser vistos na figura 16.



**Figura 15:** Potenciômetro Multivoltas

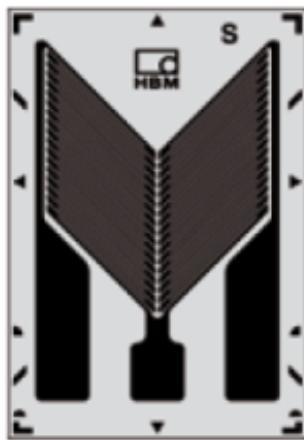
**Fonte:** Maxwell Bhr Instrumentação Eletrônica (2006)



**Figura 16:** Detalhes construtivos de um Potenciômetro

**Fonte:** Maxwell Bhr Instrumentação Eletrônica (2006)

Para medição do torque foi escolhido o “*strain gauge*” mostrado na figura 17



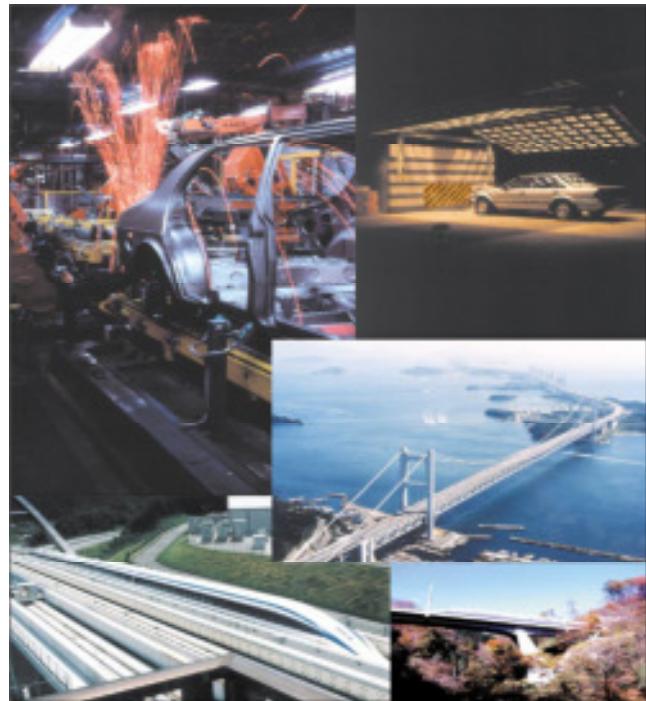
**Figura 17:** “*Strain Gauge*” para medição de torque

**Fonte:** HBM (2012)

Vale ressaltar que sensores são elementos sensitivos e que em geral fazem parte de um transdutor, que respondem a algum tipo de estímulo como calor, luz ou pressão e geram um sinal elétrico que pode ser medido ou interpretado. Como exemplo de sensor pode-se citar o termopar que sob a ação da temperatura gera um sinal elétrico correspondente em seus terminais.

Por transdutor, de maneira geral, refere-se a qualquer dispositivo que transforme um fenômeno físico em outro. Como exemplos de transdutores podemos mencionar um alto-falante que converte um impulso elétrico em som, um microfone que converte som em pulso elétrico e um transdutor de pressão cujo elemento sensor é o diafragma móvel ou a membrana que sofrerá alguma deformação por pressão mecânica.

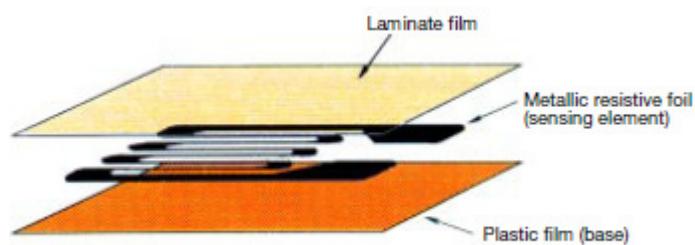
Voltando ao “*strain gauge*”, existe no mercado uma variedade muito grande de tipos, cujas características construtivas levam em consideração a aplicação a que se destina, como por exemplo para o aço, alumínio e plásticos, o que o torna uma ferramenta importante para a indústria automotiva e também para concreto, onde auxilia o engenheiro civil nas análises de pontes ou outras estruturas similares, como mostrado na figura 18.



**Figura 18:** Utilização do Strain Gauge

**Fonte:** Kyowa (2010)

Contudo, como descrito por Karl Hoffmann (1989), de maneira geral eles apresentam a forma de uma grade com um elemento sensível de metal, muito fino, colocado sobre um material com propriedade elétrica isolante e protegido por outra camada em sua parte superior, como pode ser visto na figura 19.



**Figura 19:** Construção do Strain Gauge

**Fonte:** Kyowa (2010)

Como também mencionado por Karl Hoffmann (1989), o fator que indica a sensibilidade do “strain gauge” é chamado de *Gage Factor (GF)*, como mostrado na fórmula

abaixo, ou  $K$  e varia dependendo do material metálico. A liga cobre-nickel fornece um fator  $K$  em torno de 2.

$$\text{Eq. (1)} \quad K = GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

Onde,

$K$ : Fator de ganho do “*Straing gauge*”

$R$ : Valor resistivo original do “*Strain Gauge*” em Ohms

$L$ : Comprimento da área ativa do “*Strain Gauge*” em mm

$\epsilon$ : “*Strain*” ou deformação

A relação entre Tensão aplicada e Deformação observada são obtidas experimentalmente e possibilita a escolha do material mais adequado para a aplicação. De acordo com Karl Hoffmann (1989) existe uma típica relação entre Tensão e Deformação e ela pode ser observada na formúla abaixo. A região onde “*stress* e *strain*” tem uma relação linear é chamada de limite de proporcionalidade o qual satisfaz a lei de Hook, figura 20.

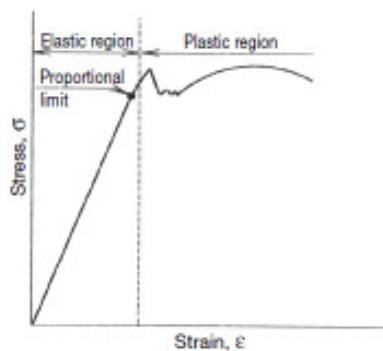
$$\text{Eq. (2)} \quad \sigma = E \cdot \epsilon \text{ ou } \sigma/E = E$$

Onde,

$\sigma$ : Tensão em kgf/cm<sup>2</sup>

$E$ : Constante de proporcionalidade ou módulo de elasticidade em kgf/cm<sup>2</sup>

$\epsilon$ : “*Strain*” ou deformação



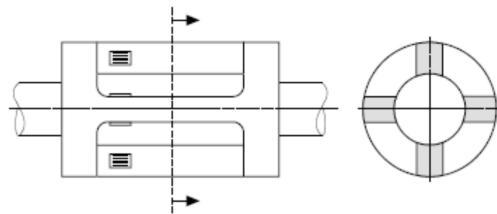
**Figura 20:** Limite de proporcionalidade (Lei de Hook)

**Fonte:** Kiowa (2010)

### 3.1.1 Medindo torque com o *strain gauge*

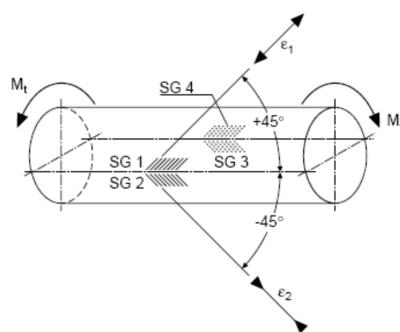
Existem inúmeros transdutores de torque no mercado, construídos com “*strain gauges*” para diversas aplicações, seguindo de maneira geral os princípios construtivos mencionados por Rainer Schicker e Geroge Wegener (2002) e mostrados nas figuras 21 e 22. A carga de torque induz a principal tensão a 45 graus do eixo, posição esta, onde são colados os principais “*strain gauges*”. A amplitude do sinal, bem como a eliminação de dados não desejaveis, como por exemplo de forças axiais, flexão e até mesmo o efeito de temperatura, somente é possível graças a ponte de Wheatstone.

A ponte de Wheatstone foi criada por Charles Wheatstone (1802-1875), e o objetivo era a medição precisa de resistências elétricas, através da comparação com uma resistência conhecida. Aplicando a mesma técnica o “*strain gauge*”, colado na superfície do material utilizado para a construção do transdutor, é ligado a outros, instalados no sistema de aquisição de dados, com valores resistivos conhecidos, tornando possível a medição de variações da ordem de  $0.0001\Omega$  até  $0.01\Omega$  (Karl Hoffmann, 1987, p.145).



**Figura 21:** Transdutor de pressão a base de “*Strain Gauge*”

**Fonte:** “*An Introduction for Measurements using Strain Gauges*”



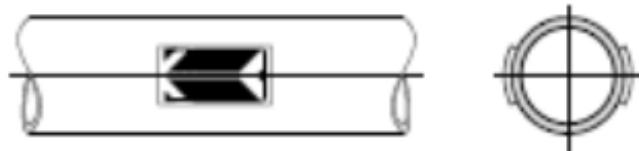
**Figura 22:** Transdutor de torque a base de “*Strain Gauge*”

**Fonte:** “*An Introduction for Measurements using Strain Gauges*”

Outro fator que tem influência sobre o nível de tensão (Volts) na saída da ponte de Wheatstone é o material ao qual o “strain gauge” foi colado e de sua relação Tensão / Deformação (Lei de Hook, figura 20), sendo que para esta finalidade a tensões aplicadas ao transdutor não devem exceder a 1/3 da região de deformação elástica.

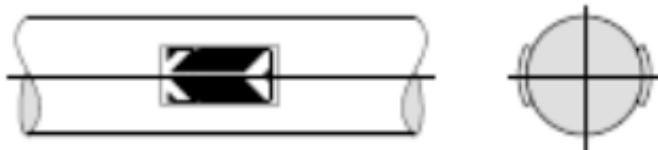
Na região de deformação elástica, o comportamento pode ser pensado como a rigidez do material ou resistência à deformação Elástica. Neste regime de deformação, uma vez que a carga for cessada, o componente retorna às suas dimensões originais. Desta forma a escolha do material está ligada diretamente a aplicação do transdutor e as cargas que o mesmo terá que suportar, sem apresentar deformações, após a interrupção da aplicação.

Com base no exposto acima a construção de um transdutor pode ser feita utilizando-se tubo como mostrado na figura 23, ou eixo rígido, mostrado na figura 24.



**Figura 23:** Transdutor de torque: Tubo

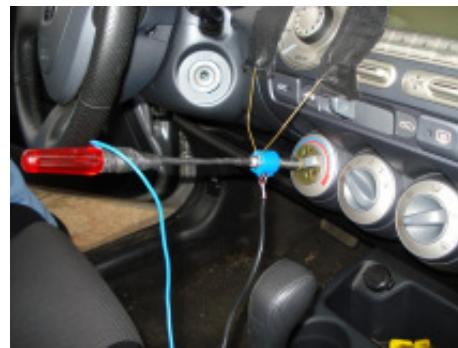
**Fonte:** “*Measuring Torque Correctly*”



**Figura 24:** Transdutor de torque: Eixo maciço

**Fonte:** “*Measuring Torque Correctly*”

Para a aplicação para o qual se destinava o transdutor, utilizou-se uma chave de fenda poderia ser utilizada, adaptando o potenciômetro multivoltas (ver figura 15) para a medição do ângulo, o resultado pode ser visto na figura 25.



**Figura 25:** Chave de fenda instrumentada

Após a construção do transdutor mostrado na figura 25 o dispositivo foi enviado para o laboratório de calibração para que pudesse ser gerada uma carta de calibração onde os dados necessários para o “*set up*” do sistema de aquisição de dados estivessem disponível.

### 3.1.2 O sistema de aquisição de dados

Existem inúmeros sistemas de aquisição de dados no mercado, como pode se visto na figura 26, “*Spider*” da HBM, e na figura 27, “*MGC Plus*” também da HBM que apresentam a mesma estrutura mencionada por Ronald J. Tocci (1991) e mostrada na figura 24.



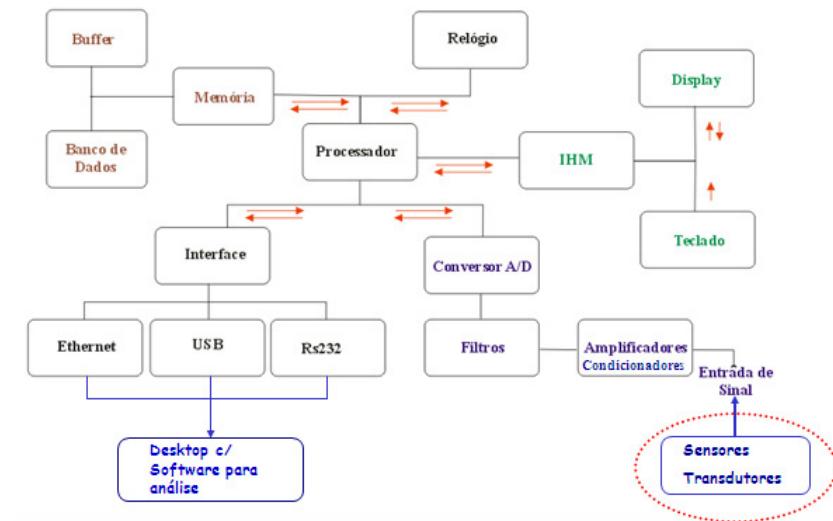
**Figura 26:** Sistema de Aquisição de dados “*Spider*” da HBM

**Fonte:** Foto tirada durante o desenvolvimento do estudo



**Figura 27:** Sistema de Aquisição de dados “MGC Plus” da HBM

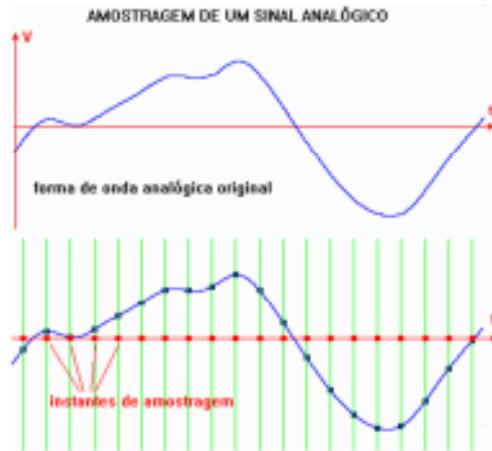
**Fonte:** Catálogo da HBM (2011)



**Figura 28:** Sistema de Aquisição de dados: Fluxo dos dados

**Fonte:** Sistemas Digitais, Princípios e Aplicações (1994)

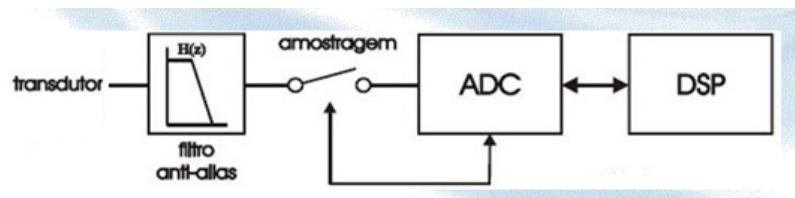
Os dados aquisitados pelos sistemas que apresentam a configuração mostrada na figura 28 são chamados de dados digitais e são discretizados no tempo de acordo Richard G. Lyons (2001), ou seja não contínuos, sendo as medições realizadas em intervalos de tempos como mostrado na figura 29 que são estabelecidos durante o “*set up*” do equipamento.



**Figura 29:** Dado discretizado no tempo

**Fonte:** Richard G. Lyons (2001)

Também deve haver preocupação com os filtros que serão utilizados para que efeitos como “Aliasing”, também abordado por Richard G. Lyons (2001), que ocorre quando um sinal é amostrado a uma taxa menor do que deveria ( $F_a > 2F_{max}$ ), também chamada de frequência Nyquist, desenvolvida por Harry Nyquist. Para corrigir esse efeito, é usado um filtro “*anti-aliasing*”, como mostrado na figura 30 (passa - baixa). Como exemplo pode-se mencionar um sinal de 60Hz, onde a taxa de aquisição mínima deverá ser de 120Hz. Neste caso o filtro a ser considerado deverá ser um passa-baixa de 60Hz, o que impedirá sinais com frequência maior que 60Hz sejam aquisitados. Sinais com frequência maior que 60Hz corromperiam o sinal quando da sua digitalização, criando “falsas” frequências abaixo de 60Hz. Um exemplo que pode auxiliar no entendimento deste fenômeno é um sinal de 100Hz, sendo aquisitado com uma taxa de amostragem de 100Hz. Neste exemplo teria-se uma frequência falsa de 20Hz sendo registrada, resultante da diferença entre a taxa de aquisição de 120Hz e a frequência do sinal, de 100Hz.

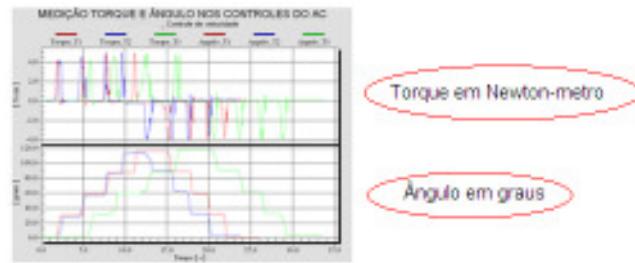


**Figura 30:** – Filtro “*anti-aliasing*”

**Fonte:** Richard G. Lyons (2001)

### 3.2 Realização das primeiras medições

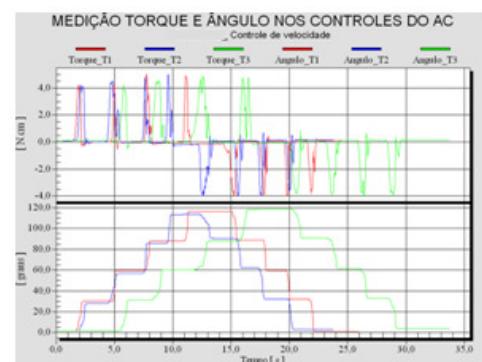
Após a definição dos sensores e equipamentos que seriam utilizados foram selecionados 3 veículos para início das aquisições. Em cada um deles foram feitas 3 medições de torque e ângulo. No figura abaixo pode ser visto a forma gráfica de apresentação dos dados e mais abaixo os respectivos resultados.



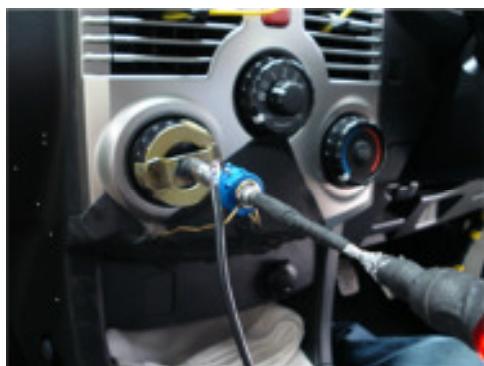
**Figura 31:** Forma gráfica para apresentação dos dados



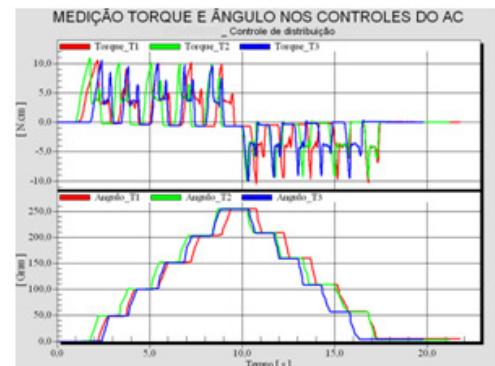
**Figura 32:** Veículo 1



**Figura 33:** Medições veículo 1



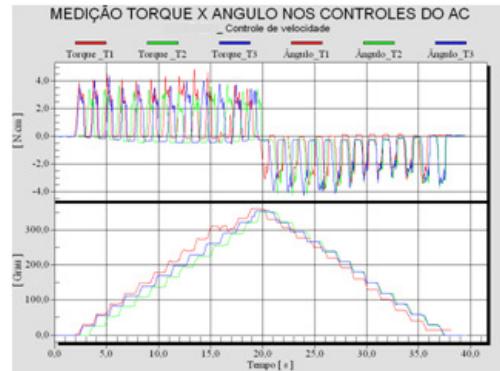
**Figura 34:** Veículo 2



**Figura 35:** Medições veículo 2



**Figura 36:** Veículo 3



**Figura 37:** Medições veículo 3

Observando-se os gráficos, as diferenças entre as 3 medições realizadas em um mesmo veículo pode ser notada. Um determinada medição, linha em vermelho, por exemplo, no gráfico mostrado na figura 35, apresenta picos não observados em outra aquisição, identificada com a cor verde (notar que cada medição é representada por uma cor diferente).

### 3.2.1 Validação dos dados obtidos

Com o objetivo de que os dados obtidos fossem validados através de uma ferramenta científica, uma R&R (Reprodutividade & Repetibilidade) foi realizada para avaliar a medição. O R&R estuda a capacidade de experimento ser reproduzido em outras amostras e repetido, por outros operadores, ou seja analisa se a inconsistência da medição é muito grande para ser ignorada, ou por falha da ferramenta utilizada ou por falha na operação da mesma e é dado por pela fórmula mostrada abaixo.

$$\text{Eq. (03)} \quad R\&R = \sqrt{(VE)^2 + (VO)^2}$$

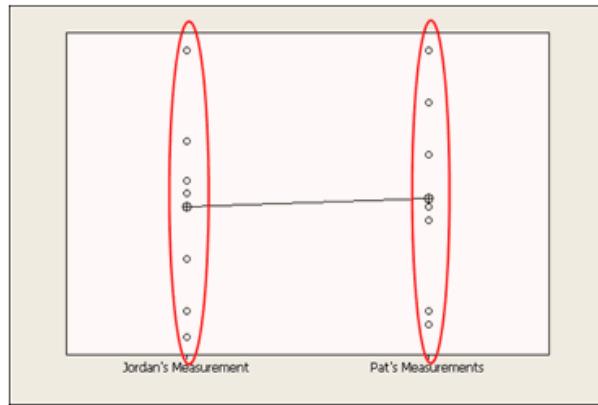
Onde,

VE: Desvio padrão observado entre diferentes amostras

VO: Desvio padrão observado entre diferentes operadores

Como exemplo de um problema que pode ser encontrado com esta ferramenta pode-se ser observar os dados mostrados na figura 38, onde a mesma pessoa verifica o peso da

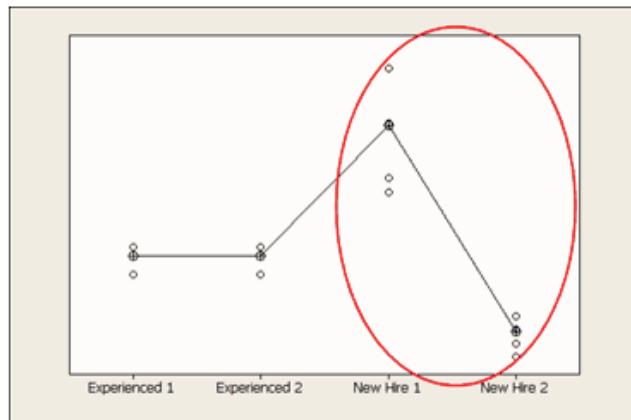
mesma caixa, na mesma balança e os resultados obtidos variam várias gramas, o que indica um sério problema com a calibração do equipamento.



**Figura 38:** Exemplo da influência de equipamento nos resultados de uma medição

**Fonte:** Internet (autor desconhecido)

No caso da figura 39, também como exemplo, temos uma comparação entre medições realizadas por experientes profissionais com outros recém contratados. Os resultados obtidos pelos novos funcionários são mais baixos ou mais altos quando comparados com os obtidos pelos mais experientes e isto pode ser decorrente da falta de treinamento destes últimos.



**Figura 39:** Exemplo da influência dos operadores nos resultados de uma medição

**Fonte:** Internet (autor desconhecido)

No caso do estudo em questão, foi realizado o R&R pelo aplicativo Minitab, criado pela Minitab, Inc. Este aplicativo foi desenvolvido para fins estatístico, e se adequa ao estudo em questão.

Foram utilizados 3 operadores diferentes e os resultados foram considerados não aceitáveis, com uma contribuição de 17.63% do processo de medição nos resultados das análises, como pode ser visto na tabela 4. Resultados de até 10% são considerados aceitáveis de maneira geral, mas internamente, dentro da empresa, objetivos de até 1% tem sido buscados.

### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,69320	17,63

**Tabela 4:** Cálculo gerado pelo Minitab para o primeiro experimento

## 4 MELHORIA DO MÉTODO APRESENTADO

Mesmo considerando que um método moderno já fora desenvolvido e aplicado com sucesso pela própria Ford em outro centro de desenvolvimento, para avaliação das características descritas anteriormente, o grupo foi motivado a encontrar uma alternativa com custos otimizados para suportar o processo de validação de novos fornecedores sem que houvesse perda da qualidade percebida por parte do consumidor, utilizando como base para as análises a Engenharia do Valor.

A técnica de Análise de Valores / Engenharia de Valores (AV/EV) é um esforço organizado para atingir o valor ótimo de um produto, sistema ou serviço, promovendo as funções necessárias ao menor custo. Seu surgimento está ligado a pesquisa de novos materiais, de mais baixo custo e mais fácil obtenção, substituindo os materiais escassos devido a II Guerra Mundial. Esta pesquisa ocorreu na General Electric nos EUA, sendo a técnica de AV/EV formalizada por Lawrence D. Miles em 1947 (BASSO, J. L - 1991).

Esta técnica, através de uma abordagem funcional, analisa a anatomia das funções, passando por um processo semântico, sendo a função a ser desempenhada pelo componente

ou sistema definida por duas palavras, a saber: um verbo, que atua sobre algo, e um substantivo que é o objeto sobre o qual o verbo atua exemplo do exposto pode ser visto na tabela 5.

Verbo	Substantivo
amplificar	corrente
armazenar	energia
aplicar	força
criar	projeto
controlar	ruido
transmitir	torque

**Tabela 5:** Engenharia do Valor: Verbo + Substantivo

No caso abordado neste estudo foi determinado que o projeto teria que ser baseado em 4 princípios, como segue:

- 1) Simplicidade
- 2) Funcionalidade
- 3) Confiabilidade
- 4) Utilização de recursos disponíveis

O atendimento aos 4 princípios estabelecidos permitiria a entrega dos resultados dentro do tempo exigido para a conclusão do projeto, pois a simplicidade, a funcionalidade e a confiabilidade demandariam um menor tempo de treinamento dos técnicos que realizariam as medições e também um menor número de re-testes seriam necessários.

#### **4.1 Localização dos acionadores**

Para a obtenção dos dados relativos a localização dos acionadores , no caso em estudo foi decidido pela utilização do manequim masculino, percentil 50%, que apresenta as mesmas dimensões que a encontrada para 50% da população, como mostrado na figura 40.

O manequim foi posicionado adequadamente no banco do motorista e este ajustado para a posição de desenho, ou seja posição ideal, determinado para o manequim utilizado neste estudo, durante o desenvolvimento do projeto do veículo.



**Figura 40:** Manequim maculino, percentil 50%

**Fonte:** Denton (2010)

#### 4.2 Medição dos demais parâmetros

Após a definição do método de avaliação da posição dos controles em relação ao ocupante o estudo para elaboração de uma proposta de melhoria ao método apresentado anteriormente, para análise do esforço necessário para acionar um botão rotativo, teve início e um dispositivo foi construído para esta finalidade.

Como o primeiro objetivo foi a medição dos acionadores do sistema de ar condicionado, localizados no centro do painel e perpendicular a linha imaginária que passa pelo túnel do veículo, a dificuldade inicial foi a fixação do sistema, de maneira que o mesmo apresentasse uma boa estabilidade e nenhuma vibração fosse observada de maneira que viesse a interferir nas medições.

Para que o objetivo descrito acima, com relação a estabilidade do sistema, um suporte duplo foi construído, onde cada um deles pode ser apoiado em um dos bancos dianteiros e presos por cintas com catracas. Estes dois suportes então foram conectados por um tubo, que tornou-se a base para a instalação do sistema de medição propriamente dito. Este tubo, além de permitir a instalação do sistema de medição, também permitiu a movimentação lateral do mesmo, para que o sistema pudesse se ajustar a localização do botão a ser medido. Detalhes do que foi descrito acima pode ser visto na figura 41.



**Figura 41:** Dispositivo para medição de torque e ângulo

Outros dois tubos, instalados verticalmente e longitudinalmente permitiram a movimentação nestes outros eixos de maneira que a o botão a ser medido pudesse ser alcançado pelo dispositivo e como pode ser visto através das figuras 42 e 43.



**Figura 42:** Dispositivo para medição de torque e ângulo

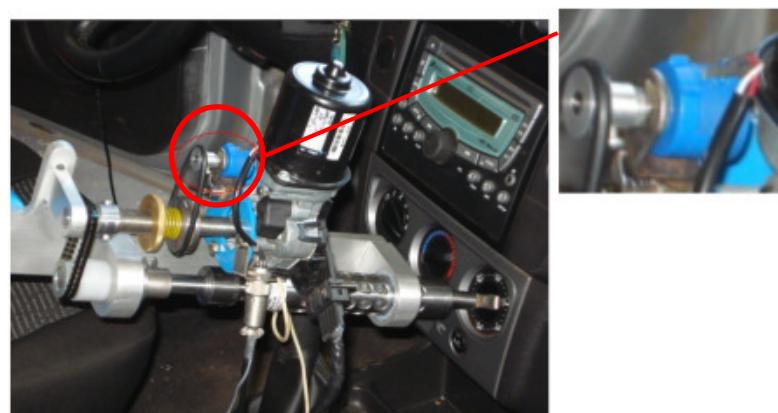


**Figura 43:** Dispositivo para medição de torque e ângulo

Em termos gerais os seguintes recursos foram utilizados: Um motor de corrente contínua, oriundo do sistema de fechamento dos vidros das portas, como pode ser visto na figura 44, um potenciômetro para medição de ângulo, figura 45, sistema de aquisição de dados da National Instruments, figura 46 e o Software LabVIEW, figura 47.



**Figura 44:** Motor de corrente contínua

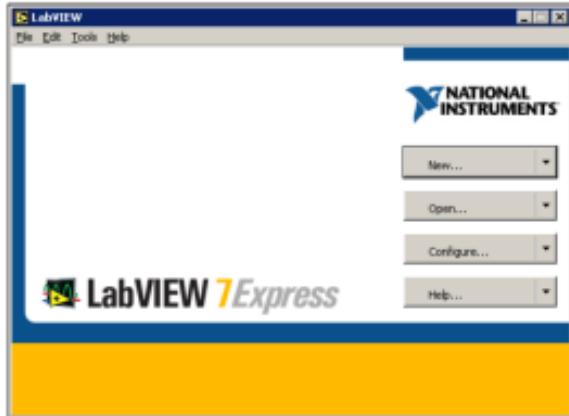


**Figura 45:** Potenciômetro para medição de ângulo



**Figura 46:** Sistema de Aquisição de dados da National Instruments

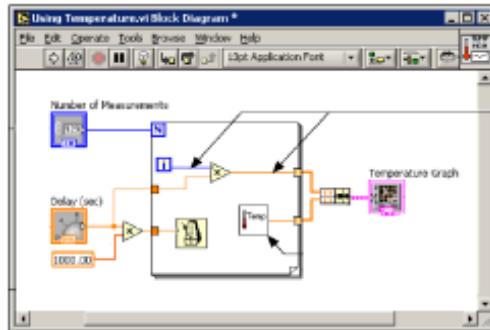
**Fonte:** National Instruments



**Figura 47:** Software LabVIEW da National Instruments

**Fonte:** National Instruments

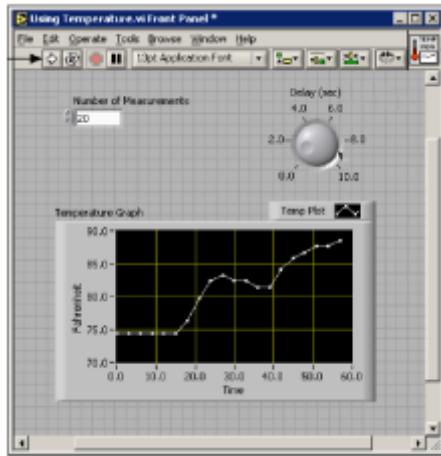
O Software LabVIEW da National Instruments, apresenta uma linguagem gráfica de programação como pode ser visto na figura 48.



**Figura 48:** LabVIEW: Linguagem Gráfica

**Fonte:** National Instruments

Os principais campos de aplicação do LabVIEW são a realização de medições e a automação. A programação pode ser feita de acordo com o modelo de fluxo de dados o que traz vantagens para a aquisição e tratamento dos dados. Os programas LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais, pois representam gráficamente o que teríamos se estivesse sendo utilizado um sistema de medição convencional, isto fica mais claro quando analizando a figura 49.



**Figura 49:** LabVIEW: Exemplo de Instrumento virtual

O mundo real é analógico e as varáveis físicas são, em sua natureza analógicas. Geralmente elas são as entradas e saídas que devem ser monitoradas, operadas e controladas por um sistema (Ronald J. Tocci, 1994), porém a totalidade dos sistema de aquisição de dados são digitais e desta forma os módulos do sistema de aquisição de dados da National possuem conversores Analógicos Digitais, o que permite a utilização de sensores analógicos para a medição de fenômenos físicos (entradas) e conversores Digitais Analógicos que possibilitam o controle de sistemas externos.

No caso do projeto em questão os seguintes módulos foram utilizados no projeto:

- Módulo NI9237, figura 47: Utilizado para medição de torque pois é desenhado para condicionar sinais provenientes de pontes de Wheatstone, montadas com os *strain gauges*, e já abordados em 3.1.1
- Módulo NI9234, figura 48: Utilizado para medições cujos sensores fornecem uma saída de DC de 0 a 5 volts.
- Módulo NI R/O 9263, figura 49: Fornece uma saída analógica que permite o controle, por exemplo, de um motor DC.



**Figura 50:** Módulo NI9237

**Fonte:** National Instruments



**Figura 51:** Módulo NI9234

**Fonte:** National Instruments



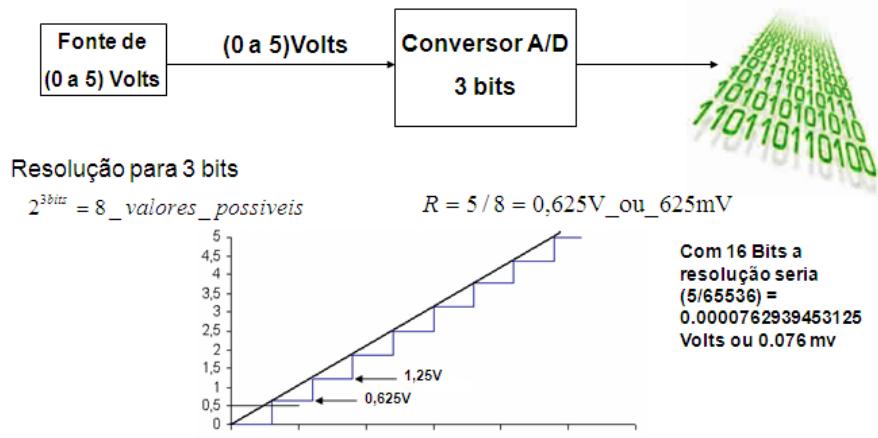
**Figura 52:** Módulo NI R/O-9263

**Fonte:** National Instruments

O princípio deste processo de conversão pode ser visto na figura 53. O dado analógico é discretizado no tempo, devendo a taxa de amostragem (*sample rate*) ser duas vezes superior ao fenômeno aquisitado (Richard G. Lyons, 2001). Isto se aplica quando o estudo esta focado na frequência do evento pois as amplitudes variam com o tempo e desta forma temos dados instantâneos. Quando seguindo este princípio, pode-se, eventualmente, obter algum dado não representativo.

Seja um sinal, limitado em banda, e seu intervalo de tempo dividido em partes iguais, de forma que se obtenham intervalos tais que, cada subdivisão compreenda um intervalo com período  $t$  segundos, onde  $t$  é menor do que  $1/2*fm$ , e se uma amostra instantânea é tomada arbitrariamente de cada subintervalo, então o conhecimento da amplitude instantânea de cada amostra somado ao conhecimento dos instantes em que é tomada a amostra de cada subintervalo contém toda a informação do sinal original.

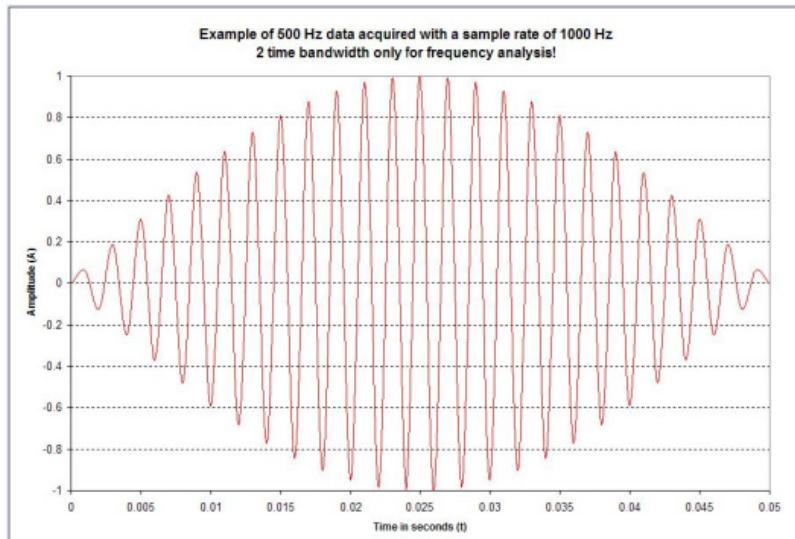
(Shannon. Claude Elwood, 1948)



**Nota:** Um “bit” adicional dobra a resolução!!!

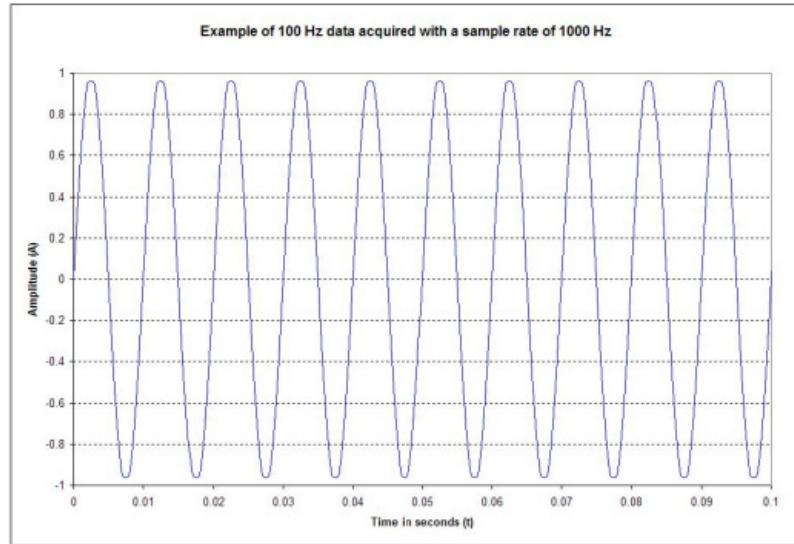
**Figura 53:** Conversão de dados análogicos para digitais

Exemplo do mencionado acima pode ser observado na figura 54, com a taxa de aquisição ajustada para duas vezes a frequência do fenômeno medido, onde diferentes valores para a mesma amplitude são observados e figura 55 onde temos uma taxa de aquisição de 10 vezes a frequência do evento aquisitado e os valores das amplitudes são exatamente os mesmos para todo o período medido.



**Figura 54:** Exemplo de dado aquisitado com duas vezes a frequência do sinal

**Fonte:** Experimento realizado durante o desenvolvimento do projeto



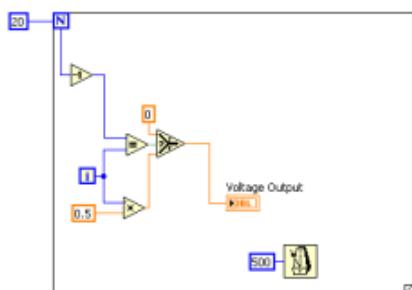
**Figura 55:** Exemplo de dado aquisitado com 10 vezes a frequência do sinal

**Fonte:** Experimento realizado durante o desenvolvimento do projeto

Com relação ao software LabVIEW, nas figuras 56 e 57 pode ser visto um exemplo de como a linguagem gráfica é utilizada para controlar um motor DC.

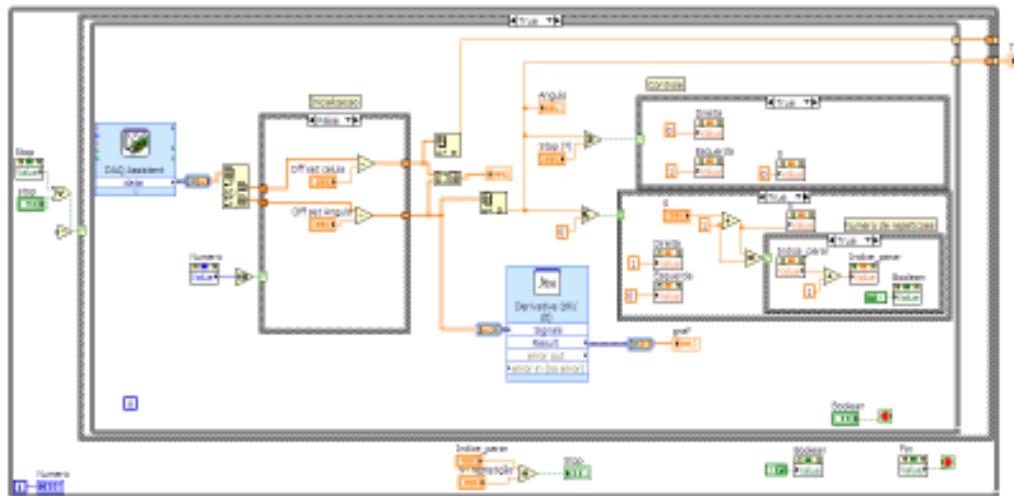


**Figura 56:** LabVIEW controlando um motor de corrente contínua



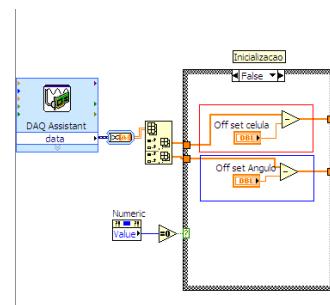
**Figura 57:** LabVIEW controlando um motor de corrente contínua

Para o objetivo em questão o projeto abaixo, utilizando o LabView, e mostrado na figura 58 foi elaborado.



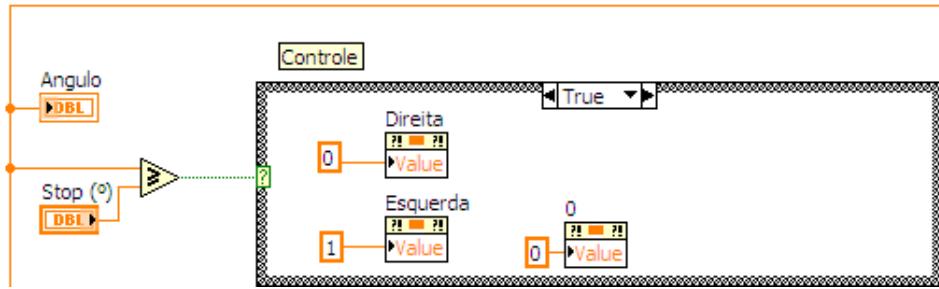
**Figura 58:** Projeto usando o LabVIEW: Geral

O sinais gerados pelos transdutores de ângulo (dentro do retângulo azul) e torque (dentro do retângulo vermelho), foram conectados aos respectivos condicionadores e virtualmente a entrada do sistema, como pode ser visto na figura 59. Neste caso a conexão visa a possibilidade de que cada novo ciclo de aquisição tenha início na mesma condição através da remoção da posição inicial (*offset*) ou, em outras palavras, “zerando” o sinal da saída dos transdutores.



**Figura 59:** Projeto usando o LabVIEW: “Offset”

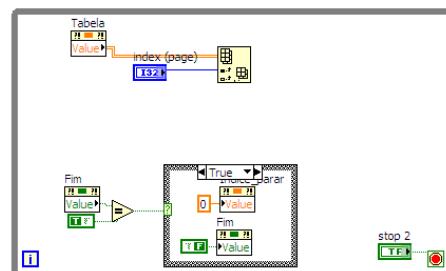
O Sinal proveniente do transdutor de Ângulo também é conectado a outra entrada virtual, como mostrado na figura 60.



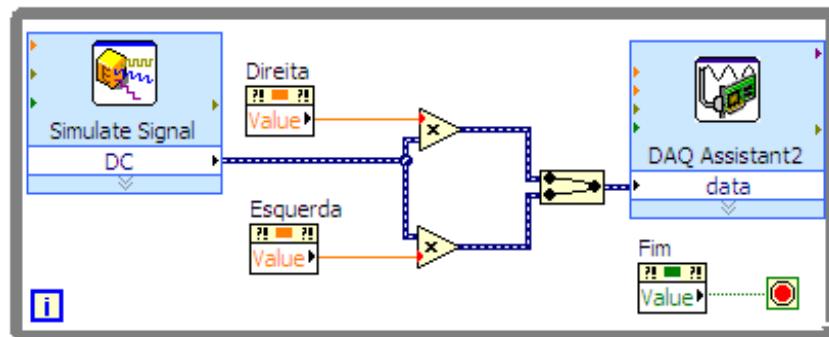
**Figura 60:** Conexão do transdutor de ângulo ao sistema

Neste caso em particular (figura 60) o objetivo é comparar o sinal proveniente do transdutor com uma posição, em graus, pré-ajustada pelo engenheiro responsável pelo ensaio.

No caso da chave rotativa deixa-se pré-estabelecido o ângulo total, que considera todas as posições da chave como ponto final da medição após o qual o sistema desliga o motor, através do comando mostrado na figura 61 e inverte o sentido do motor através do comando mostrado na figura 62, retornando o sistema para a posição inicial. Também é possível ajustar o número de repetições desejadas para cada uma das chaves sob avaliação.



**Figura 61:** Final de curso da chave rotativa

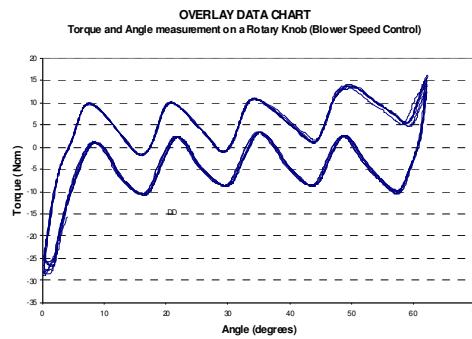


**Figura 62:** Inversão do sentido de rotação do motor

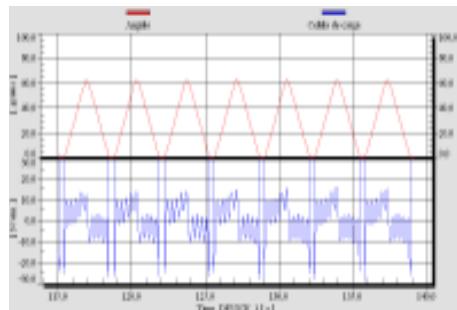
### 4.3 Validação dos dados

Para a verificação do novo sistema foram utilizados novamente os 3 veículos avaliados na fase inicial deste estudo e que foram mostradas nas figuras 32, 34 e 36.

Os resultados obtidos de uma das amostras podem ser vistos nas figuras 63 e 64, onde pode-se observar que as 3 medições se sobrepõem uma as outras, comprovando a repetibilidade da medição.



**Figura 63:** Gráfico “Torque vs Ângulo”



**Figura 64:** Gráfico mostrando os valores de Torque e ângulo separadamente

Para validação dos dados um R&R (Repetibilidade e Reprodutividade) foi novamente realizado, sendo o Minitab a ferramenta utilizada neste processo e os resultados podem ser vistos na tabela 6, onde a contribuição de 0.24% do processo de medição nos resultados medidos pode ser observado.

Este resultado comprova a melhoria obtida por esta nova proposta com relação a anterior, onde o nível de contribuição do processo de medição era de 17.63% e abaixo do objetivo pré-estabelecido de 1% de R&R para o projeto.

### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,00646	0,24

**Tabela 6:** Cálculo gerado pelo Minitab para o primeiro experimento

#### 4.3.1 Análise dos dados obtidos

Após a validação e sendo a confiabilidade dos dados comprovada a análise das informações nele contidas pode ter início.

A Ford tem desenvolvido ao longo dos anos critérios objetivos para avaliação de todos os atributos do veículo de maneira que possa desenvolvê-los e que cujas características possam ser sentidas, quando comparados com outros veículos, pelos consumidores. A este conjunto de características tem-se chamado de DNA da marca. No caso em particular das chaves rotativas, tem-se por objetivo criar padrões para a curva do torque exigido para acionamento da chave, para a regularidade, onde verifica-se o quanto a curva obtida desvia-se da curva de torque ideal.

A análise da suavidade é que permite a avaliação da “textura” da curva. Esta análise é possível através da fórmula abaixo, onde a média de 50 pontos aquisitados, 25 anteriores e 25 posteriores, são comparados com o dado aquisitado para o instante  $t$  em análise, como pode ser observado na tabela 7 e figura 65.

$$\bar{E}ff_i = \frac{\sum_{j=i-25}^{i+25} Eff_j}{n}$$

Eq. (04):

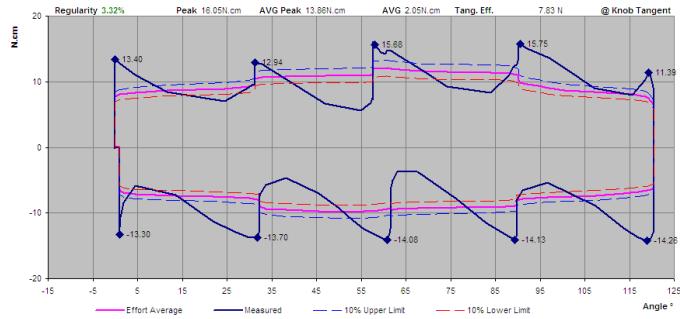
Onde,

$\bar{E}ff_i$ : Esforço médio

$n$ : Número de amostras

Time	Travel ["]	Torque [N.cm]	$\frac{\sum_{j=i-25}^{i+25} Eff_j}{n}$ ADJUST!!!! Smoothness Eff	10.00%	Upper Limit =média dos esforços (Effort Average + Tolerância)	Lower Limit =média dos esforços (Effort Average - Tolerância)
seg	Angle ["]	Measured	Effort Average	10% Effort	10% Upper Limit	10% Lower Limit
0.48	0	10.389024	6.43420255	0.643420255	7.07765328	5.79007229
0.50	0.216043	10.922985	6.54624599	0.654624599	7.200670598	5.891621391
0.52	0.432086	11.712319	6.63492985	0.663492985	7.398422945	5.971436955
0.54	0.504101	12.507456	6.724194302	0.6724194302	7.396613733	6.051774672
0.56	0.54813	12.791849	6.833191867	0.6833191867	7.516511197	6.148672797
0.58	1.512302	11.65428	6.962271269	0.696227127	7.655486396	6.266044142
0.60	3.744749	10.389024	7.108574863	0.7108574863	7.820532349	6.398617376
0.62	6.121224	9.6229062	7.274406307	0.7274406307	8.001846938	6.546956576
0.64	9.433897	8.0152192	7.453283248	0.7453283248	8.198611572	6.707545923
0.66	17.71554	4.7301981	7.641214231	0.7641214231	8.405355741	6.877092879
0.68	27.65353	5.432473	7.840404985	0.7840404985	8.624445482	7.058384498
0.70	30.53411	7.1678463	8.051551744	0.8051551744	8.865706918	7.248298569
0.72	31.11022	7.1678463	8.268151491	0.8268151491	9.09499881	7.441338772
0.74	31.28627	7.4870621	8.483479775	0.8483479775	9.331827752	7.835131797
0.76	31.28627	8.4605136	8.695787318	0.869578732	9.583986956	7.826208887
0.78	31.32627	9.3443178	8.902774859	0.890277486	9.792392345	8.011957373
0.80	31.32627	10.034985	9.099508279	0.909950828	10.009459111	8.199557451

**Tabela 7:** Tabela para cálculo de suavidade



**Figura 65:** Curva real versus curva gerada pela fórmula da “Suavidade”

O resultado é considerado dentro dos padrões quando a soma dos quadrados da diferença entre o ponto medido e sua média, e divididos pelo número de pontos em análise, como mostrado na fórmula abaixo, não é superior a 10%.

$$noise = \frac{\sum_{i=0}^n (\bar{Eff}_i - Eff_i)^2}{n}$$

Onde,

$\bar{Eff}_i$ : Esforço médio

$Eff_i$ : Esforço medido em determinado instante de tempo

$n$ : Número de amostras

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que a qualidade dos dados obtidos ficaram dentro do requerido pela empresa, com o processo de medição contribuindo com apenas 0,24% nos resultados obtidos.

Tais resultados permitiram o estabelecimento de padrões para a curva de torque e ângulo das chaves rotativas e até, através destes dados, a análise da resposta do botão ao acionamento, para itens que antes eram considerados subjetivos, como a avaliação da suavidade ou “textura” por exemplo e cujas características tem-se chamado DNA da marca.

Diferentemente dos resultados obtidos pelas avaliações subjetivas os dados obtidos neste projeto podem ser considerados conclusivos e suportar uma escolha entre várias propostas de acionadores.

Pela utilização de recursos existentes na maioria dos mercados e pela simplicidade do projeto o procedimento pode ser implementado em qualquer região onde a empresa atue ou que venha atuar.

Como o dispositivo criado tem limitações para realizar medições em acionadores que tenha uma forma geométrica e acionamento diferentes da encontrada nas chaves rotativas, adaptações terão que ser desenvolvidas para avaliar tais acionadores.

Estudos também devem ser realizados para que outros parâmetros possam também ser analisados tendo por base os mesmos princípios adotados para o caso abordado neste trabalho, como segue: Simplicidade, Funcionalidade, Confiabilidade e Disponibilidade de recursos.

Além do exposto acima a busca na engenharia experimental, pelo desenvolvimento de novos métodos, pela adoção de novas tecnologias e uma maior aproximação da área de CAE (*Computer-Aided Engineering*) devem continuar e com certeza renovará a importância da engenharia experimental no cenário atual.

## REFERÊNCIAS

- HOFFMAN, karl. **An Introduction to Measurements using Straing Gauges**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik, 1987.
- LIDA, Itiro. **Ergonomia Projeto e Produção**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1990
- TOCCI, Ronald J. Tocci. **Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações**. Prentice Hall, 1991
- Walter, Patrick L.. **The Handbook of Dynamic Force, Pressure and Acceleration Measurement**. Endevco Corporation, 2001
- Schicker, Rainer; Wegener. **Measuring Torque Correctly**. Hottinger Baldwin Messtechnik, 2002
- Lyons, Richard G.. **Understanding Digital Signal Processing**. A Prentice Hall PTR Publication, 2001
- BASSO, J. L. . **Engenharia e Análise do Valor**. São Paulo. IMAM, 1991
- Shannon, Claude Elwood. **A Mathematical Theory of Communication**. Bell System Technical Journal, 1948.
- Cilo, José Lama. **Avaliação Estrutural de Bancos de Automóveis de Passageiros**. 2009. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, PUC, Minas Gerais, 2009.
- Instituto Federal de Santa Catarina. **Ferramentas da Qualidade**. (sem data e autor disponíveis no material)
- ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 15300-1: Veículos rodoviários automotores - Proteção ao ocupante - Ensaios de impacto frontal, 2010.
- Ford Motor Company - **A Robot with Feelings: Ford's Sense of Quality, Touch Perfected by the RUTH Machine**. Artigo técnico divulgado internamente em 2011
- Patsko, Luís Fernando. **Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, 2006
- Messering - Equipamentos para “*Crash test*” - Disponível em: <http://www.messring.de/test-facilities-and-components/crash-test-facilities/>. Acesso em: 12 de junho de 2012
- HBM – Hottinger Baldwin Messtechnik – Disponível em: <http://www.hbm.com/pt/>. Acesso em: 12 de junho de 2012
- Redlake – Câmeras de Alta velocidade – Disponível em: <http://www.idtpiv.com/>. Acesso em: 12 de junho de 2012
- Kyowa – Fabricante de “*Strain Gauges*” – Disponível em: <http://www.kyowa-ei.co.jp/eng>. Acesso em: 12 de junho de 2012