

LEANDRO HENRIQUE GOMES MORGADO

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA CÉLULA DE CARGA
ACOPLADA A UMA GRAMPEADEIRA.**

Guaratinguetá
2013

LEANDRO HENRIQUE GOMES MORGADO

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA CÉLULA DE CARGA
ACOPLADA A UMA GRAMPEADEIRA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini

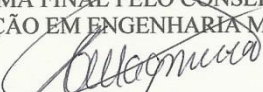
Guaratinguetá
2013

M847p	Morgado, Leandro Henrique Gomes Projeto e construção de uma célula de carga acoplada a uma grampeadeira / Leandro Henrique Gomes Morgado. - Guaratinguetá: [s.n.], 2013 52 f.: il. Bibliografia: f. 52 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013 Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini Co orientador: Prof. Dr. Mauro Pedro Peres 1. Resistência dos materiais 2. Medidores de tensão I. Título CDU 620.17
-------	---

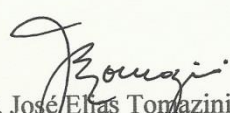
Leandro Henrique Gomes Morgado

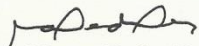
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

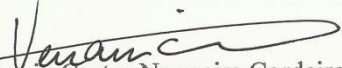
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Elias Tomazini
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Mauro Pedro Peres
UNESP-FEG


Eng. Venancio Castro Nogueira Cordeiro
Membro Externo

Dezembro 2013

DADOS CURRICULARES

LEANDRO HENRIQUE GOMES MORGADO

NASCIMENTO	28.03.1989- SÃO PAULO/ SP
FILIAÇÃO	Oswaldo José Morgado Nanci Gomes Morgado
2008/ 2013	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista

DEDICATÓRIA

de modo especial, à meu pai Oswaldo José Morgado, que com o seu apoio e exemplo de vida, foi o grande incentivador para que eu me dedicasse ao curso, e à minha mãe Nanci Gomes Morgado que sempre esteve ao meu lado em todas as minhas dificuldades.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus primeiramente, pelo fôlego de vida e por Ele sempre estar ao meu lado. Melhor amigo e conselheiro, sempre me guardou nas viagens durante minha estada na Europa e mesmo no traslado até a universidade diariamente;

aos meus pais Oswaldo e Nanci, que sempre me apoiaram e me proveram recursos para chegar onde cheguei;

a minha namorada Elda Prado, que me deu forças durante minha viagem e também é minha companheira na correria do dia-a-dia;

ao meu orientador Prof. Dr. José Elias Tomazini que com muita paciência e dedicação me auxiliou neste trabalho durante todo o ano;

ao aluno de pós-graduação Daniel Rodrigues, que com sua parceria foi possível realizar um trabalho que beneficia a vida dos trabalhadores de uma empresa;

Lista de Figuras

Figura 1: Ferramenta Grampeadeira.....	3
Figura 2- Representação de um extensômetro típico.....	6
Figura 3: Codificação para escolha do tipo de extensômetro.....	8
Figura 4: Esquema Ponte de Wheatstone.....	9
Figura 5: Tipos de montagem de extensômetros em ponte de Wheatstone.....	10
Figura 6- Figura ilustrativa da linha neutra e regiões (tracionada e comprimida).....	11
Figura 7: Os principais transdutores construídos com extensômetros.	12
Figura 8- Malha não uniforme, números de nós e de elementos.....	13
Figura 9: Foto da grampeadeira.....	15
Figura 10: Foto do dispositivo (detalhes do cabo onde é aplicado a força palmar).....	16
Figura 11: Imagem com Medição da Grampeadeira (cabo).....	17
Figura 12: Imagem com Medição da Grampeadeira (corpo).....	17
Figura 13: Imagem com medição da espessura do cabo do dispositivo.....	18
Figura 14: Análise de forças no transdutor e diagrama de Momento Fletor.....	19
Figura 15: Posição dos extensômetros no transdutor.....	20
Figura 16: Construção da geometria do protótipo.....	22
Figura 17: Aplicação de suporte fixo e força.....	23
Figura 18: Criação da malha	23
Figura 19: Peça 1 juntamente com o transdutor.....	24
Figura 20: Peça 2 com detalhes (furo e base).....	25
Figura 21: Parte superior do dispositivo.....	25
Figura 22: Montagem do dispositivo tridimensional.....	26
Figura 23: Construção do protótipo no programa AutoCad.....	26
Figura 24: Peças usinadas sem acabamento.....	27
Figura 25: Peças montadas.....	27
Figura 26: Protótipo montado antes da fase final de pintura.....	28
Figura 27: Peças usinadas e acabadas.....	28
Figura 28: Características dos extensômetros utilizados.....	29
Figura 29: Preparação da superfície.....	29
Figura 30: Soldagem dos extensômetros.....	30
Figura 31: Verificação de possíveis interferências.....	30

Figura 32: Dispositivo pronto para testes.....	31
Figura 33: Dispositivo fixado no suporte.....	32
Figura 34: Suporte auxiliar para aplicação dos pesos.....	32
Figura 35: Dispositivo e suporte de massas (calibração).....	33
Figura 36: Resultado no simulador da tensão normal na direção Y.....	36
Figura 37: Resultado da deformação específica.....	37
Figura 38: Deformação direcional no eixo X.....	38
Figura 39: Tensão equivalente de von-Mises.....	39

MORGADO, L. H. G **Projeto e construção de uma célula de carga acoplada a uma grampeadeira.** 2013 52 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Pindamonhangaba, 2013.

RESUMO

Devido a grande produtividade na indústria automobilística e a alta concorrência no mercado atual, seus funcionários são obrigados a realizar movimentos repetitivos e, muitas vezes, com intervalos pequenos de descanso. Esta exposição diária acarreta sobrecargas musculares e tensões pontuais, gerando assim problemas de estresse e psicossociais. Atualmente as empresas se preocupam com o bem estar do empregado, onde o foco principal é a qualidade dos produtos e da vida do trabalhador, justificando assim tal estudo. Sendo assim, foi desenvolvido este trabalho técnico para auxiliar a tese de mestrado do aluno de pós-graduação Daniel Rodrigues, com o objetivo de analisar, desenvolver, projetar e construir um dispositivo acoplado a uma célula de carga simulando uma grampeadeira a ser utilizada numa indústria nos postos de grampeação de estofamento de bancos. Têm-se as etapas de projeto e construção detalhadas neste trabalho e seus resultados positivos com relação à parte técnica do estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Produtividade na indústria, sobrecargas musculares, grampeadeira.

MORGADO, L. H. G **Design and construction of a load cell coupled to a stitcher** . 2013
52 f. Graduate Work (Degree in Mechanical Engineering) - College of Engineering Campus
Guaratinguetá , Universidade Estadual Paulista , Pindamonhangaba , 2013.

ABSTRACT

Due to greater productivity in the auto industry and the high competition in the current market, employees are required to perform repeated movements and often, with short intervals of rest. This daily exposure causes muscle tension and overloads occasional, thus creating problems and psychosocial stress. Currently companies are concerned with the welfare of the employee, where the main focus is product quality and life of the worker, thus justifying such a study. Therefore , this technical work to assist the master's thesis of graduate student Daniel Rodriguez , was developed with the objective is to analyze , develop, design and construct a coupled to a load cell device simulating a stitcher to be used in an industry the posts stapling upholstery of seats . Are the stages of design and construction detailed in this work and its positive results in relation to the technical part of the study.

KEYWORD: Productivity in industry, muscle overload, stitcher.

Sumário

1- Introdução.....	11
2- Fundamentação Teórica	14
2.1- Conceitos Básicos	14
2.2- Extensometria.....	14
2.3- Ponte de Wheatstone	18
2.4- Transdutores.....	20
2.5- Modelagens em Elementos Finitos	21
2.6- Ansys.....	23
3- Metodologia	24
3.1- Idealização da forma do Transdutor.....	24
3.2- Metodologia de cálculo	27
3.3- Procedimento no Ansys	31
3.4- Procedimento no SolidWorks	33
3.5- Construção	35
3.5.1- Desenho Final AutoCAD.....	35
3.5.2- Etapas de Construção.....	36
3.5.3- Aplicação do extensômetro no Transdutor	38
3.6- Calibração	40
3.7- Testes	43
4- Resultados.....	44
4.1- Resultado dos Cálculos	44
4.2- Resultado da Simulação no Programa Ansys	45
4.3- Resultado dos Testes no Protótipo	49
4- Conclusão.....	51
Referências.....	52

1- Introdução

A resistência dos materiais é uma área na engenharia muito importante e pouco explorada. Com ela é possível resolver diversos problemas do cotidiano, como por exemplo, problemas musculoesqueléticos nas articulações, músculos e tendões devido a movimentos repetidos, sobrecarga ou uso incorreto do organismo. O mal uso de um calçado, pode gerar um grave problema na musculatura da perna do usuário. A pesquisa nesta área pode auxiliar na fabricação de diversos produtos tornando-os mais adequados ao uso e causando menos impacto aos usuários.

Devido a grande produtividade na indústria automobilística, por exemplo, e a alta concorrência no mercado atual, seus funcionários são obrigados a realizar movimentos repetidos e, muitas vezes, com intervalos pequenos de descanso. Esta exposição diária acarreta sobrecargas musculares e tensões pontuais, gerando assim problemas de estresse e psicossociais, justificando assim tal estudo. Sendo assim, uma análise detalhada nos equipamentos de fabricação podem otimizá-los quanto ao peso, tamanho e geometria. Se um equipamento industrial apresentar uma geometria desfavorável, isso pode gerar problemas de saúde ao funcionário, implicando em perda de eficiência e conseqüentemente redução nos lucros da empresa. Sem mencionar que um fato como este pode comprometer a qualidade dos produtos, gerando insatisfação dos clientes. A ergonomia segundo Nogueira (2002) contribui sensivelmente para o aumento da produção e conseqüentemente para o bem estar dos empregados, onde o enfoque fundamental é a qualidade do produto e da vida do trabalhador. Sendo assim, é notória a importância do estudo da resistência dos materiais nas diversas áreas de nosso dia-a-dia.

Neste cenário, descobriu-se uma problemática numa empresa automotiva, no setor de grampeação do encosto dianteiro e do assento traseiro. Nestes postos de trabalho os funcionários realizam a grampeação do tecido na espuma utilizando uma ferramenta chamada grampeadeira, como mostrada na Figura 1.

Figura 1: Ferramenta Grampeadeira.



Fonte: Autor

O presente estudo tem como objetivo analisar, desenvolver, projetar e construir uma célula de carga a ser acoplada a um protótipo da grampeadeira utilizada nesta indústria nos postos de grampeação de estofamento de bancos. Este protótipo será posteriormente utilizado pelo aluno de pós-graduação Daniel Érico Rodrigues em estudo sobre análise comparativa dos parâmetros do limiar de contração e força muscular do ombro em atividades laborativas de uma indústria.

Para a concretização de tal projeto, primeiramente pensou-se em desmontar a grampeadeira da figura 1 e remonta-la acoplando uma célula de carga, para a medição da deformação causada pela força palmar realizada pelo operário, durante suas atividades. Porém devido à complexidade do dispositivo foi decidido construir um protótipo desde o início.

Logo, foi dado início ao cronograma deste trabalho de graduação, realizando a revisão bibliográfica. Nesta etapa foi consolidada a parte teórica para adquirir embasamento ao estudo. Em seguida foi idealizada uma forma para o transdutor que transmitirá a deformação causada pela força aplicada. Após a definição da geometria do protótipo foi realizados os cálculos do momento, da tensão neste transdutor. Na modelagem e simulação do modelo foi usado o programa Ansys, para otimização e auxílio do entendimento. Já para melhor compreensão do trabalho realizado, foi utilizado o programa SolidWorks, isso devido ao fato

de suas ferramentas que melhor explicam a imagem, desenhando-a em 3D e proporcionando o entendimento de qualquer pessoa, seja ela do meio técnico ou não. Com o protótipo projetado e simulado, foi dado início a construção. Nesta etapa, para facilitar o entendimento do técnico com relação ao projeto, foi realizado no programa AutoCad um desenho cotado com parafusos e todos os detalhes necessários para a construção. A calibração é parte importante, pois sem uma precisão nos resultados não é possível atingir os objetivos traçados inicialmente. Calibrado e testado o estudo chega a sua fase final, alcançando seu propósito de auxiliar o trabalho do aluno de pós-graduação Daniel Rodrigues.

2- Fundamentação Teórica

2.1- Conceitos Básicos

Os conceitos principais da mecânica dos materiais são tensão e deformação. Assim que corpos são solicitados por forças externas tendem a mudar sua forma e seu tamanho. Essas mudanças podem ser visíveis a olho nu, porém muitas vezes são tão pequenas que se tornam imperceptíveis sem o uso de equipamentos de medição. Estas alterações são chamadas de deformação. Outra forma de sofrer deformações é quando há variações na temperatura no corpo (HIBBELER, 2004).

A deformação específica normal (ϵ) é definida como a razão entre uma deformação (δ) e o comprimento inicial do elemento (L), de acordo com a equação (2.1).

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.1)$$

Um sinal positivo (tração) refere-se a um alongamento ou estiramento do material, enquanto que um sinal negativo (compressão) a uma contração (UGURAL, 2009).

Tensão é uma unidade de força por unidade de área, como é mostrado na equação (2.2).

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.2)$$

onde:

ΔF é a variação força externa

ΔA é a variação da área na seção transversal

2.2- Extensometria

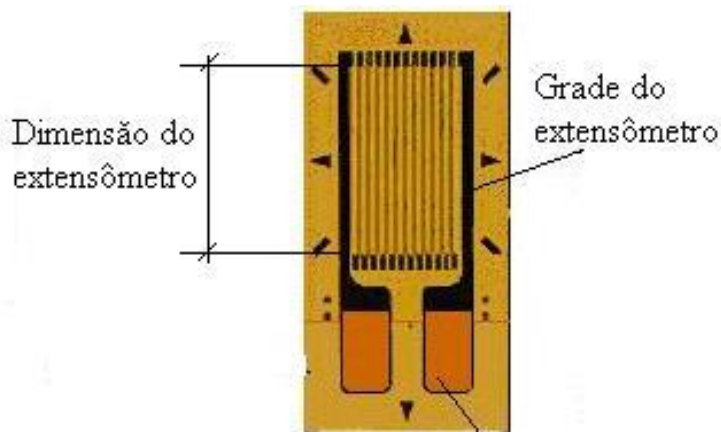
Esforços aplicados a um corpo resultam em tensões numa determinada direção, relacionada com a área de uma seção considerada. Com o avanço tecnológico a engenharia passou a ser capaz de medir estes esforços com precisão. Antigamente, era comum a medição da capacidade do material ou estrutura de suportar cargas aplicadas, devido ao fato de que forças e áreas são mais fáceis de serem medidas e calculadas. No entanto, atualmente, graças

à evolução tecnológica é possível a medição das deformações através da extensometria (JUNIOR, 1989).

A descoberta que fios de cobre e ferro tensionados aumentam sua resistência elétrica foi feita por Lord Kelvin. Ele observou também que o fio de ferro apresenta um maior aumento na resistência se comparado com o fio de cobre, quando ambos são submetidos à mesma tensão. Sendo assim, Lord Kelvin utilizou a Ponte de Wheatstone para medir esta mudança na resistência (DALLY e RILEY, 1965). Um circuito de ponte de Wheatstone, onde o extensômetro é conectado por fios, é utilizado para converter a variação da resistência elétrica em deformações (UGURAL, 2009).

Extensômetros são sensores utilizados para medir estas deformações a partir de variações na resistência elétrica. Composto por uma malha de filamento fino depositado entre duas lâminas de material plástico tratado apresentam a aparência da Figura 2: (UGURAL, 2009)

Figura 2- Representação de um extensômetro típico.



Fonte: (BARRETO)

A resistência elétrica (R) é calculada através da fórmula (2.3):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.3)$$

onde:

L é o comprimento do condutor.

A é a área da seção transversal.

ρ é a resistividade.

A análise do nível de tensão e deformação nos pontos críticos é de extrema importância para avaliar experimentalmente a resistência destes corpos. Existem algumas técnicas para a análise de tensão, como por exemplo: extensômetros mecânicos, óticos e elétricos; extensômetros colados de resistência elétrica; verniz quebradiço ou camada frágil; método de moiré ou das franjas; fotoelasticidade; método do difratômetro de raios X, método eletroacústico.

Neste trabalho de graduação foi utilizado o método de extensômetros de resistência elétrica colados, técnica esta muito utilizada pela sua precisão e ótimo custo/benefício. Este método baseia-se em um mini resistor literalmente colado à peça, no qual acompanha sua deformação elástica variando a resistência elétrica.

Uma característica importante do extensômetro é seu fator de sensibilidade que a mostra quando se mede sua deformação, agindo como amplificador das micro deformações. É expressa pela equação (2.3):

$$K = \frac{\Delta R}{R} / \varepsilon \quad (2.3)$$

onde:

R é a resistência inicial do extensômetro.

ΔR é a variação desta resistência devido à deformação.

ε é a deformação do extensômetro.

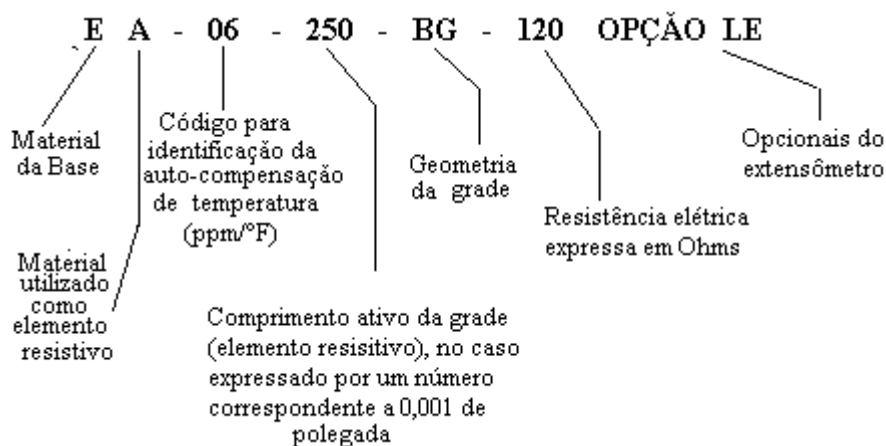
O valor do fator de sensibilidade pode ser calculado teoricamente, porém normalmente os fabricantes de extensômetros realizam ensaios experimentais para determinar este valor, sendo esta informação transmitida aos usuários (JUNIOR, 1989). Na grande maioria o valor de K varia de 2 à 2,6, porém em alguns casos podem ser diferentes, como o níquel (-12), a platina variando de 4 à 6. Na Tabela 1 mostra alguns materiais, seus nomes comerciais e também seus valores de sensibilidade à deformação (BARRETO).

Tabela 1: Valores da sensibilidade à deformação de algumas ligas utilizadas na confecção dos extensômetros elétricos.

Material e Liga	Nome Comercial	Sensibilidade a Deformação
Cobre - Níquel (44 Ni, 54 Cu, 1 Mn)	Advance	+ 2,1
Cobre - Níquel (40 Ni, 60 Cu)	Constantan	+ 2,1
Platina		+6,0
Níquel – Cromo (80 Ni, 20 Cr)	Nicromo V	+ 2,2
Níquel – Cromo (75 Ni, 20 Cr + Fe + Al)	Karma	+ 2,1
Níquel (100 Ni)	Níquel	- 12,0
Aço - Cromo - Molibdênio	Isoelastic	+ 3,5

Os fabricantes de extensômetros adotaram um padrão para facilitar a escolha do tipo de extensômetro. A Figura 3 ilustra esta codificação de um dos fabricantes de material para extensômetro. Esta codificação prioriza o material da base, material como elemento resistivo, geometria da grade, resistência elétrica expressa em Ohms e ainda alguns opcionais do extensômetro.

Figura 3: Codificação para escolha do tipo de extensômetro.

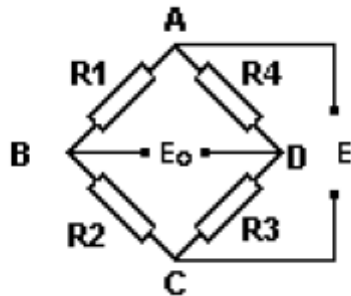


Fonte: www.eletrica.ufpr.br (data da pesquisa 13/10/2013)

2.3- Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone é o circuito mais utilizado para medição de deformação, tanto estática quanto dinâmica. Excitadas por uma fonte de alimentação (E), os quatro resistores são posicionados como mostra na figura 4.

Figura 4: Esquema Ponte de Wheatstone.



Fonte: Extensometria - Manual Prático (BARRETO)


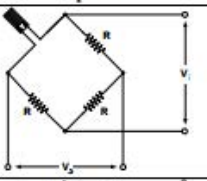

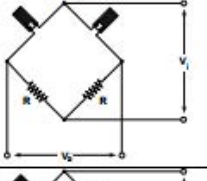

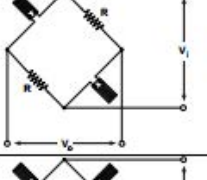

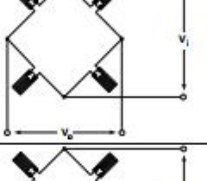
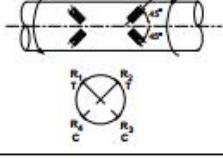
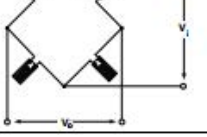
O valor de E_0 pode ser encontrado pela equação 2.4.

$$E_0 = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_4}{(R_1 + R_2) * (R_3 + R_4)} E \quad (2.4)$$

Quando a ponte está em equilíbrio (balanceada) é encontrado um valor nulo para o E_0 , pois $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$. Desta forma, quando esse valor for diferente de zero, significa que a ponte está desbalanceada (SHIGUE, 2010).

A ponte de Wheatstone pode apresentar formas de montagem, ou seja, configuração variada, com um, dois, ou quatro extensômetros. A Figura 5 mostra os tipos de montagem de extensômetros em ponte de Wheatstone.

Figura 5: Tipos de montagem de extensômetros em ponte de Wheatstone.

Nº	Configuração	S.G. ativos	Configuração da ponte	Sinal de saída
1		1		$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K_G \cdot \epsilon}{4}$
2		2		$\frac{V_o}{V_i} = \frac{(1+\nu)K_G \cdot \epsilon}{4}$
3		2		$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K_G \cdot \epsilon}{2}$
4		4		$\frac{V_o}{V_i} = \frac{2 \cdot (1+\nu)K_G \cdot \epsilon}{4}$
5		4		$\frac{V_o}{V_i} = K_G \cdot \epsilon$

Fonte: extensômetros elétricos (SHIGUE, 2010).

Existe uma série de maneiras de se combinar os quatro resistores da ponte de Wheatstone. Esta variedade se dá pelo uso de extensômetros ativos ou inativos.

Na construção é possível utilizar quatro extensômetros de mesma resistência, sendo que apenas um deles é ativo, ou seja, os demais extensômetros atuam como resistores. Está é uma forma mais imediata de circuito de aplicação da ponte, recebendo o nome de circuito de $\frac{1}{4}$ de ponte. Nesta mesma lógica, se for utilizado dois extensômetros ativos e dois inativos, obtém-se um circuito em $\frac{1}{2}$ ponte (JUNIOR, 1989).

2.4- Transdutores

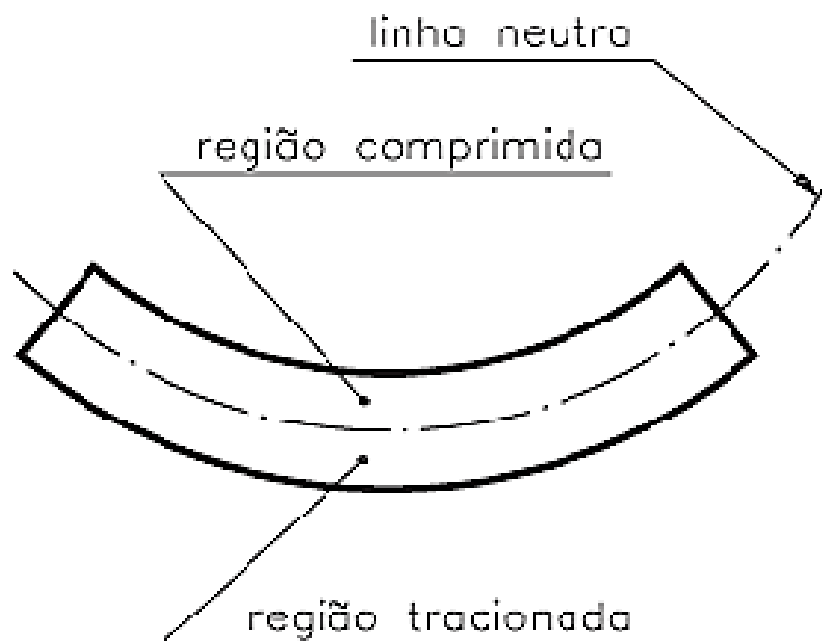
Segundo Azevedo (1989), transdutor é um dispositivo que ao receber um estímulo responde com outro de natureza diferente.

Através de extensômetros elétricos, é possível a medição das deformações de um corpo geradas por um estímulo qualquer. Estes estímulos podem ser originados por uma massa produzindo força, torque ou mesmo pressão. Essas grandezas são mensuradas mediante indicadores eletrônicos ligados aos extensômetros.

A força aplicada ao transdutor é proporcional à deformação resultante, sendo o módulo de elasticidade o fator de proporcionalidade. Existem alguns tipos de células de carga para a medição de força: de cisalhamento, de flexão e de coluna. Na flexão o elemento elástico sofre a deformação gerando uma linha neutra paralela a superfície, com tração de um lado e compressão do outro.

A Figura 6 mostra um transdutor que sofreu a ação de forças externas. Sendo assim, o transdutor foi dividido em duas regiões por uma linha neutra, ou seja, uma linha que não sofre com a aplicação da força. Na região acima da linha neutra o transdutor é comprimido, já na região abaixo desta linha, o transdutor é tracionado.

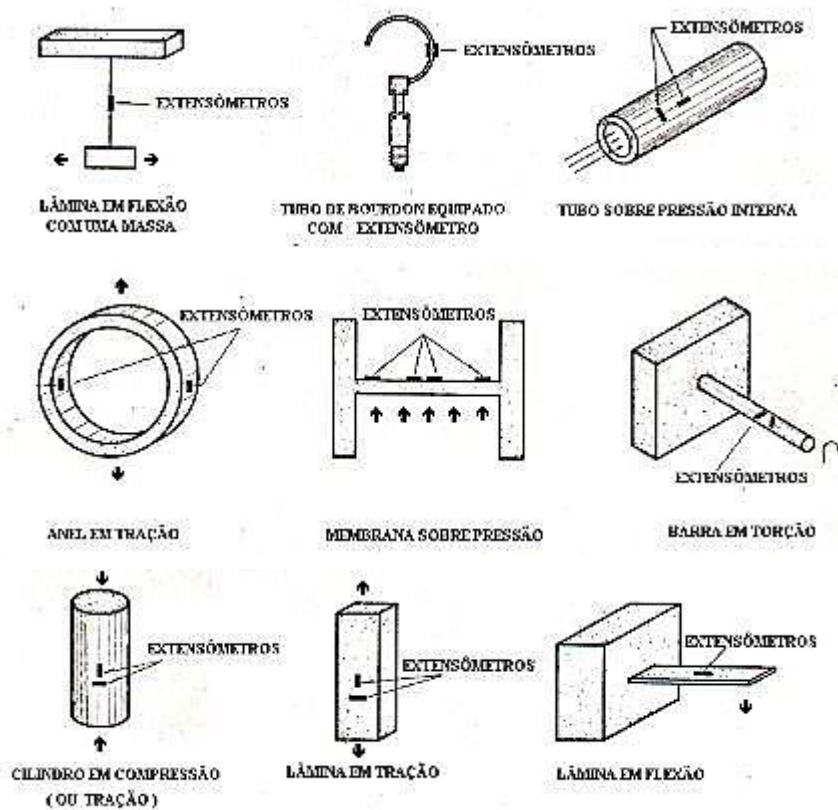
Figura 6- Figura ilustrativa da linha neutra e regiões (tracionada e comprimida).



Fonte: Relatório de resistência dos materiais- UNIFEI- Prof: José Célio

Os principais transdutores construídos com extensômetros são: transdutor de carga (célula de carga), transdutor de pressão, transdutor de deslocamento, transdutor de inclinação, transdutor de aceleração (acelerômetros). A Figura 7 mostra esses transdutores.

Figura 7: Os principais transdutores construídos com extensômetros.



Fonte: Extensômetria Transdutores (BARRETO)

Para não danificar o transdutor durante seu uso, é importante que o mesmo trabalhe na faixa elástica de deformação do material, evitando uma deformação plástica permanente.

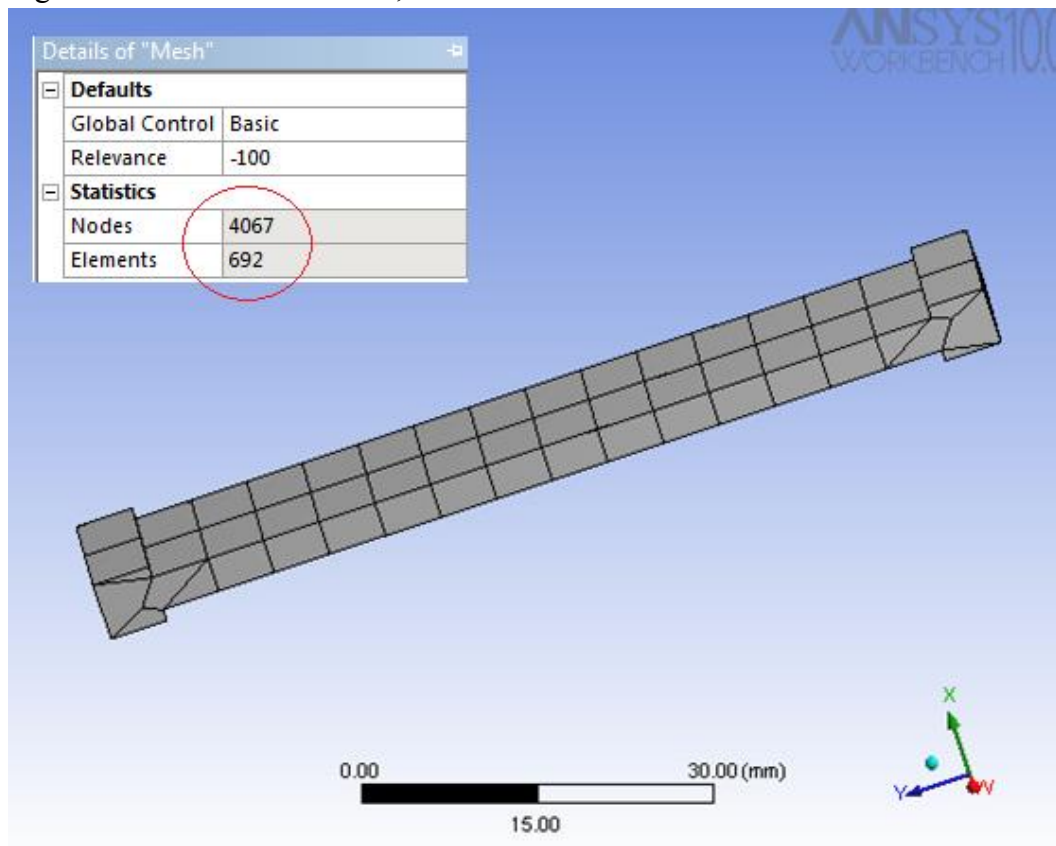
2.5- Modelagens em Elementos Finitos

Devido às estruturas apresentarem geometrias complexas e carregamentos variados, os métodos clássicos se tornaram inadequados pra estas análises. Portanto, se fez necessário um método para resolver um amplo leque de problemas físicos como: análise de tensões e deformações em sólidos bi e tridimensionais, placas, cascas, análise linear e não linear, estática e dinâmica, mecânica dos sólidos, problemas relacionados a fluidos, distribuição de temperaturas e eletromagnetismo. Sendo assim, surge no cenário da engenharia o método dos

elementos finitos. O conceito primordial do método é dividir ou discretizar a região em regiões suficientemente pequenas de forma que a solução em cada pequena região (elemento) seja representada por uma função simples. Ou seja, o método consiste na subdivisão por um número finito de elementos conectados não somente em um nó, mas também na sua fronteira. Esta rede de nós que discretiza uma determinada região é denominada malha. Quanto mais elementos esta região possui mais densa e refinada é a malha, tornando mais precisa sua análise. Esta divisão pode apresentar formas variadas como triângulos, quadrados, tetraedros, hexágonos ou quadriláteros (TOMAZINI, 2011).

Na Figura 8, pode-se perceber a malha não uniforme, assim como o número de nós e de elementos. Esta malha foi gerada no programa Ansys Workbench 10.0.

Figura 8- Malha não uniforme, números de nós e de elementos.



Fonte: Imagem produzida pelo autor no programa de simulação Ansys.

A grande maioria dos problemas da engenharia é solucionada por dois modos: pelas leis e princípios da mecânica aplicada a elementos diferenciais do contínuo resultando numa equação diferencial que deve ser integrada ou o mesmo é visto como uma integral, levando em conta a energia contida no contínuo. A primeira é conhecida como formulação diferencial

e a segunda como formulação integral. Como já foi dito anteriormente, para situações complexas fica difícil encontrar a solução através de equações diferenciais ou minimizando o funcional. Sendo assim, utilizam-se métodos aproximados baseados na formulação diferencial ou na formulação integral. Rayleigh-Ritz e Galerkin são exemplos destes métodos de elementos finitos que procuram soluções aproximadas (TOMAZINI, 2011) (UGURAL, 2009).

2.6- Ansys

O programa Ansys foi criado para assessorar as técnicas de elementos finitos na resolução de problemas de praticamente todos os campos da engenharia, que requerem a simulação no processo de desenvolvimento de produtos. Alguns tipos de análise podem ser feitos através deste programa:

- ✓ Análise Estática Linear e Não Linear;
- ✓ Flambagem;
- ✓ Análise Modal e resposta em Frequência;
- ✓ Análise Dinâmica Linear e Não Linear Transiente;
- ✓ Subestruturação;
- ✓ Transferência de Calor;
- ✓ Dinâmica de Fluidos Computacionais;
- ✓ Eletromagnetismo.

Acessado através de uma interface gráfica, o gerador automático de malha, a conexão com programa de CAD e uma vasta biblioteca de elementos finitos são vários recursos gráficos do programa Ansys.

A organização do programa consiste em três bases: 1- pré-processador, 2- solução e 3- pós-processador. No item 1, é definido a geometria da estrutura, a malha (manualmente ou automaticamente), e até as características do material. No item 2, aplicam-se os carregamentos e as condições de contorno, determinam-se as tensões, deslocamentos, frequências naturais e outras problemáticas. Sequencialmente no item 3, pós-processador do Ansys, é a fase em que ocorre a listagem e a apresentação gráfica dos resultados (BITTERCOURT, 2010).

3- Metodologia

Este capítulo tem como objetivo descrever o projeto e mostrar os métodos de trabalho utilizado. Primeiramente, foi analisada uma forma viável de transdutor, de acordo com as características do dispositivo original. Neste item, são mostradas algumas imagens do dispositivo e uma régua para que se possa perceber com clareza as dimensões do mesmo. A partir da definição da forma e das grandezas do protótipo, deu-se início aos cálculos. Nesta seção será calculado o momento e a tensão que o transdutor sofre devido a carga. Com o intuito de consolidar os cálculos foi construído e simulado o protótipo no software Ansys.

A utilização de softwares tridimensionais é importante em projetos, pois traz uma melhor compreensão do que se deseja produzir. Nesta visão, foi criado um protótipo no programa SolidWorks como visto na seção (3.4). Após estas etapas de desenvolvimento, foi dado início a construção. A fase de construção consiste na execução das peças que farão parte do protótipo, da colagem dos extensômetros e também da calibração.

3.1- Idealização da forma do Transdutor

Primeiramente, se pensou em adaptar a célula de carga ao próprio equipamento usado na empresa (grampeadeira). As Figuras 9 e 10 dão uma noção melhor do tamanho do dispositivo com relação à mão do operário.

Figura 9: Foto da grampeadeira.



Fonte: Foto tirada pelo autor

Figura 10: Foto do dispositivo (detalhes do cabo onde é aplicado a força palmar)



Fonte: Foto tirada pelo autor

Devido à complexidade em desmontar este dispositivo e posteriormente remontá-lo com uma célula de carga acoplada ao mesmo, foi decidido projetar e construir um dispositivo de simulação, um protótipo.

Esse dispositivo protótipo deve apresentar as mesmas características do modelo como: peso, dimensões e forma. Desta maneira é apresentada nas Figuras 11, 12 e 13 a grampeadeira com uma régua para ser possível mensurar o dispositivo.

Figura 11: Imagem com Medição da Grampeadeira (cabo).



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Figura 12: Imagem com Medição da Grampeadeira (corpo).



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Figura 13: Imagem com medição da espessura do cabo do dispositivo.



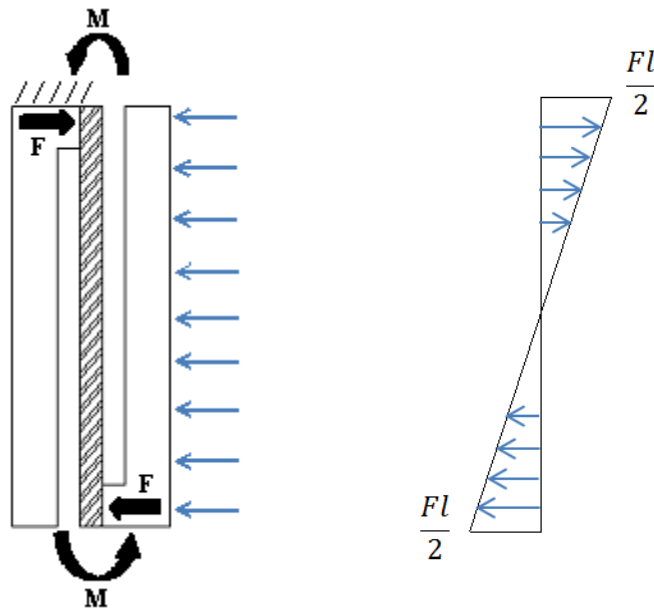
Fonte: Foto tirada pelo autor.

Desta forma, foi possível coletar os dados métricos do equipamento e iniciar o projeto. Um detalhe importante é seu peso que é de um quilo e oitocentos gramas.

3.2- Metodologia de cálculo

Na figura 14, foi isolada a região de interesse para análise das tensões e deformações, e também foi feito o diagrama de momento fletor. Nesta região, composta pelas peças cilíndricas e pelo transdutor, foi mostrada a carga distribuída devido à força palmar e suas reações nos pontos de apoio.

Figura 14: Análise de forças no transdutor e diagrama de Momento Fletor



Fonte: Desenhos produzidos pelo autor

Através da equação 3.1 foi calculado o momento sofrido pelo transdutor.

$$M = F \cdot l - M = F \cdot l - \frac{F \cdot l}{2} = \frac{F \cdot l}{2} \quad (3.1)$$

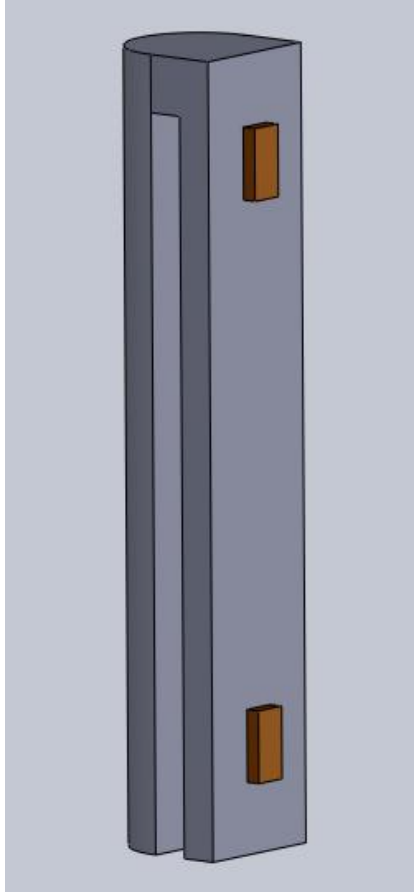
F é a resultante da força no transdutor referente a carga distribuída.

L é a distância do extensômetro até a resultante F.

De acordo com o diagrama de momento fletor mostrado na Figura 14, vê-se que enquanto na parte superior do transdutor ocorre tração em um dos lados, na parte inferior ocorre compressão, no mesmo lado. Pode-se então utilizar este fato para colar extensômetros nestes pontos (superior e inferior) e dispô-los em braços adjacentes em uma ponte de Wheatstone, formando um circuito em 1/2 ponte. A ponte de Wheatstone apresenta uma variedade de combinações de resistores, como por exemplo: 1/2 ponte, 1/4 de ponte, ponte em equilíbrio e outras formas, como visto no segundo capítulo.

O fator de sensibilidade é fornecido pelo fabricante do extensômetro, e no caso do extensômetro KYOWA KFG-5-350-C1-11 é de aproximadamente dois. A Figura 15 mostra a posição dos extensômetros no transdutor.

Figura 15: Posição dos extensômetros no transdutor.



Fonte: Autor

Para encontrar o valor da deformação específica em [mm/mm], foi utilizado as equações (3.2) e (3.3). Na equação (3.2), foi adotado um valor de k igual dois.

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) = \frac{2 \cdot k \cdot \varepsilon}{4} = \varepsilon \quad \text{para } K=2 \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{\sigma}{E} = \frac{M \cdot c}{E \cdot I} = \frac{F \cdot l \cdot h \cdot 12}{2 \cdot 2 \cdot b \cdot h^3 \cdot E} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{E \cdot b \cdot h^2} \quad (3.3)$$

Para facilitar os cálculos foi introduzido uma notação p sendo que:

$$p = \frac{l}{b \cdot h^2} \quad (3.4)$$

Desta forma, foi obtido a deformação específica de acordo com a equação (3.5).

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{3 \cdot F \cdot p}{E} \quad (3.5)$$

Esta notação facilitou os cálculos e na equação (3.6) é apresentado o valor de p e a fórmula que calcula a espessura do transdutor (h).

$$\therefore p = \frac{E}{3 \cdot F} \cdot \frac{\Delta E}{V} \gg h = \sqrt{\frac{l}{b \cdot p}} \quad (3.6)$$

Para verificar que a deformação do transdutor não seria muito alta e viesse a ocorrer um contato entre as partes do dispositivo, invalidando o experimento, foi realizada a estimativa de deformação através da equação (3.7). Esta equação é obtida através da teoria de deflexão em vigas onde foi utilizada a teoria de superposição.

$$Y = Y_1 + Y_2 = \frac{Fl^3}{3EI} + \frac{ML^2}{2EI} = \frac{Fl^3}{3EI} + \frac{-(Fl)l^2}{2EI} = \frac{Fl^3}{EI} = \frac{12Fl^3}{Eb h^3} \quad (3.7)$$

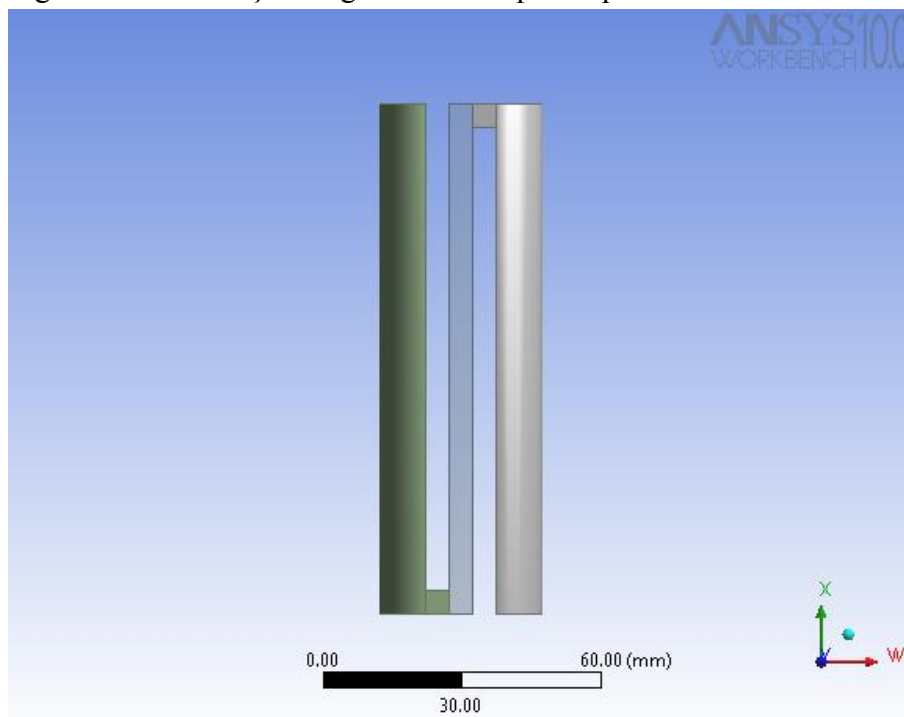
A tensão sofrida pelo transdutor devido a carga foi calculada pela equação 3.8, onde o momento de inércia desta peça é $\frac{bh^3}{12}$. O valor de c nesta equação é a metade da espessura do transdutor.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{\left(\frac{Fl}{2}\right) \cdot \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{3Fl}{bh^2} \quad (3.8)$$

3.3- Procedimento no Ansys

Após definida a geometria do protótipo e suas dimensões, iniciou-se a construção do desenho no programa. Esta etapa do processo é bem similar a outros software como SolidWorks e AutoCad, por exemplo. Criado um esboço, basta utilizar a ferramenta extrusão que o sólido é gerado. Desta forma, foi criado as três partes do protótipo mostrado na Figura 16.

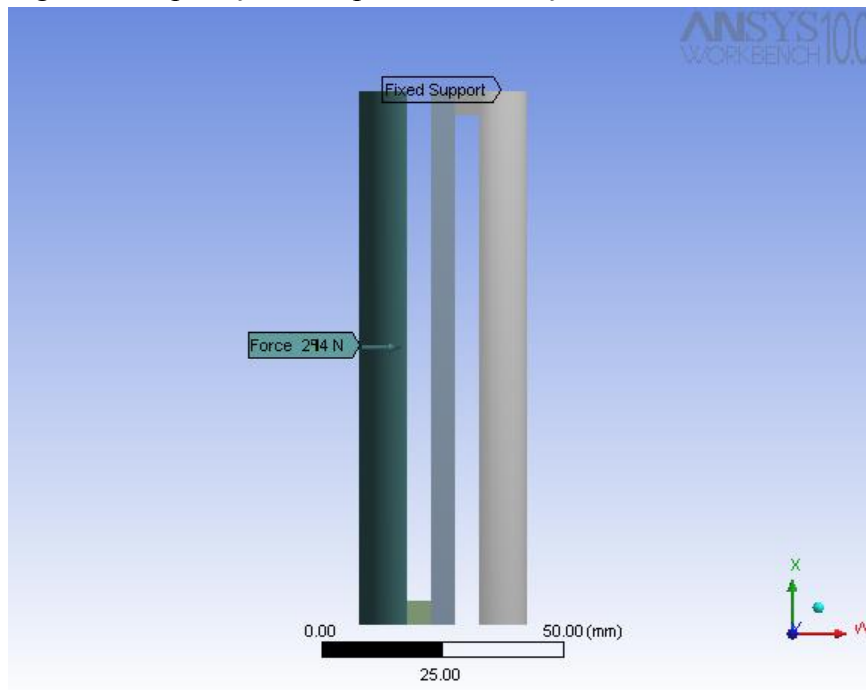
Figura 16: Construção da geometria do protótipo.



Fonte: Autor

Em seguida, foi adicionada a característica de suporte fixo na parte superior do semicilindro a direita, pois esta região não deve apresentar nenhum tipo de deformação, por estar fixada a barra superior. Assim, foi aplicada a força de 274N no semicilindro à esquerda, como resultado da carga distribuída que o mesmo recebe. Desta forma, a Figura 17 mostra o suporte fixo e a força aplicada.

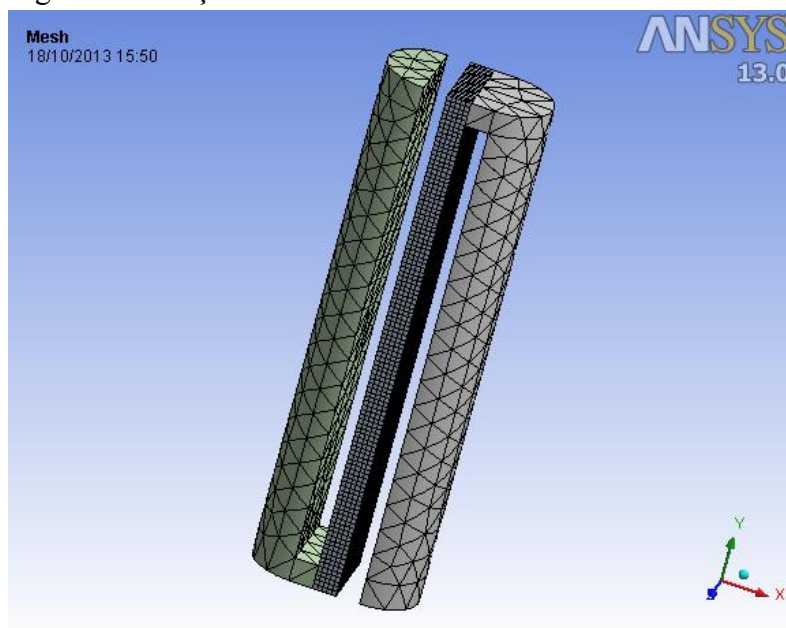
Figura 17: Aplicação de suporte fixo e força.



Fonte: Autor

Etapa muito importante da definição da interface gráfica é a criação da malha. A parte principal do protótipo é o transdutor, situado entre os semicilindros. Esse deve apresentar uma malha mais refinada, ou seja, com maior número de nós e consequentemente de elementos. Na Figura 18 é notório o grau de refinamento no transdutor e nos semicilindros.

Figura18: Criação da malha.



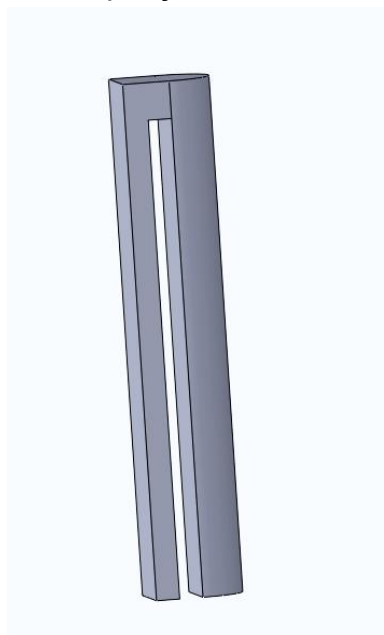
Fonte: Autor

Finalmente foram obtidos os resultados da simulação e serão apresentados no próximo capítulo na seção resultado da simulação no programa Ansys.

3.4- Procedimento no SolidWorks

O programa SolidWorks oferece ferramentas de software 3D onde é possível criar, simular, publicar e gerenciar dados. Este programa de fácil aprendizado auxilia engenheiros e profissionais da área a criar e desenvolver produtos de diferentes tipos e formas, dando uma melhor visão ao projetista do que está sendo fabricado. Neste trabalho foi utilizado o programa para dar forma tridimensional ao projeto, possibilitando verificar possíveis equívocos e facilitando a visualização. Primeiramente foi criado a peça 1, que consiste em um semicilindro com uma extrusão na parte superior, para que este ressalto auxilie na deformação do transdutor. Esta construção é verificada na Figura 19.

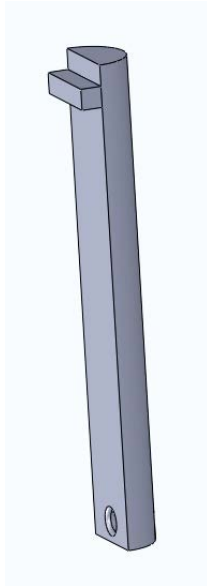
Figura 19: Peça 1 juntamente com o transdutor.



Fonte: Projetado pelo autor no programa Solidworks 2010

Sendo assim, semelhantemente à primeira peça (semicilindro), foi construído a peça 2, que também tem a função de auxiliar na deformação do transdutor, como mostrado na Figura 20. Importante também salientar o furo observado na peça, que além de facilitar a montagem, também será o local por onde o fio que conecta o extensômetro foi passado.

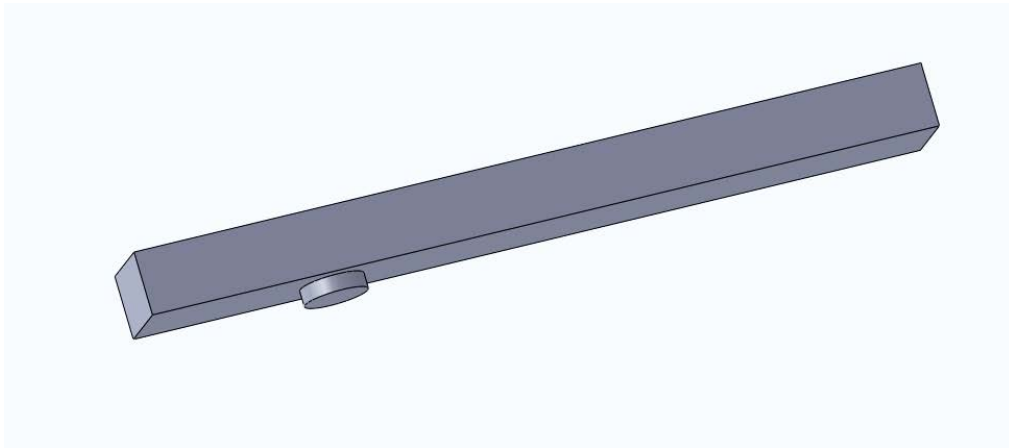
Figura 20: Peça 2 com detalhes (furo e base).



Fonte: Projetado pelo autor no programa SolidWorks 2010

E finalmente foi projetada a parte superior do dispositivo, sendo esta composta por um esboço retangular simples e uma extrusão, como mostrado na Figura 21. O detalhe circular na peça é uma base para a fixação da peça 2 (semicilindro).

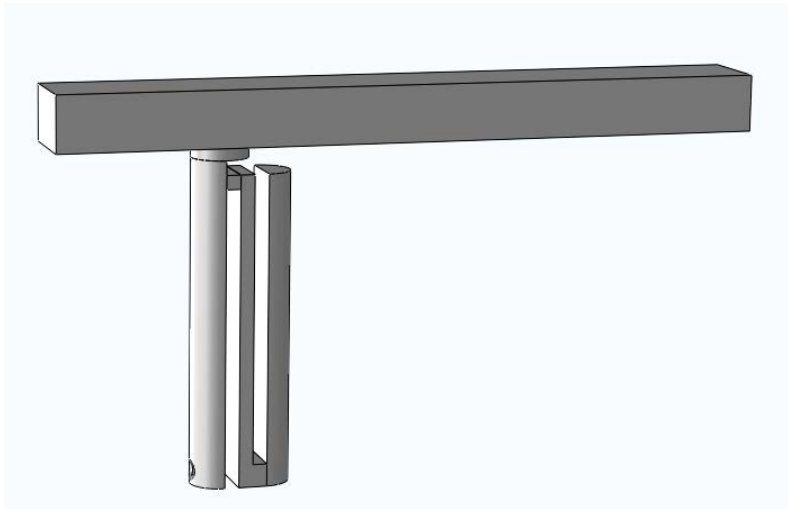
Figura 21: Parte superior do dispositivo.



Fonte: Projetado pelo autor no programa SolidWorks 2010

Através do método montagem disponível no software, foi posicionado cada peça em seus locais pré-estabelecidos e assim se obteve o dispositivo tridimensional, como mostrado na Figura 22.

Figura 22: Montagem do dispositivo tridimensional.



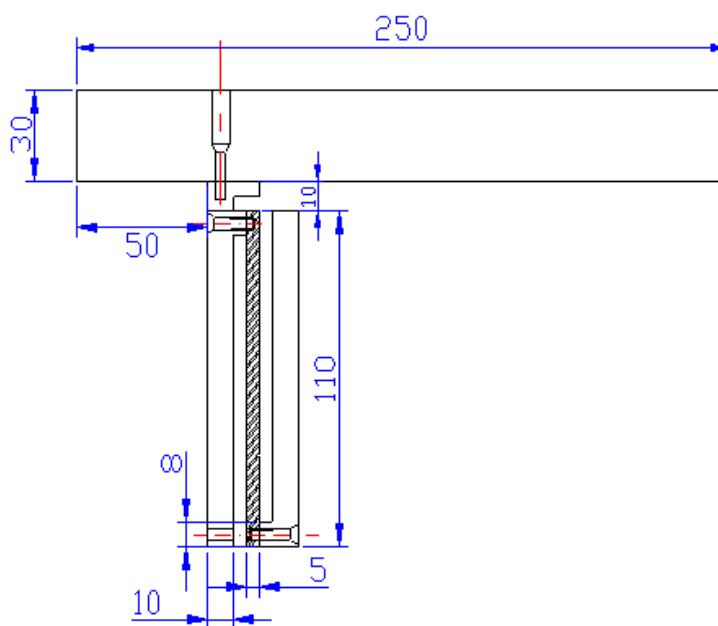
Fonte: Projetado pelo autor no programa SolidWorks 2010

3.5- Construção

3.5.1- Desenho Final AutoCAD

Nesta seção será mostrado o desenho criado através do programa AutoCad para facilitar a construção por parte do técnico. Neste desenho da Figura 23, foram adicionados os parafusos nos locais pré-estabelecidos e também as cotas.

Figura 23: Construção do protótipo no programa AutoCad.



Fonte: Autor

3.5.2- Etapas de Construção

A primeira etapa da fase de construção foi a usinagem das peças que compõem o dispositivo. A Figura 24 mostra as partes usinadas sem acabamento.

Figura 24: Peças usinadas sem acabamento.



Fonte : Autor

Nas Figuras 25 e 26 foram montadas as peças no intuito de visualizar a construção antes do acabamento final com uma camada de tinta protetora. Na primeira imagem é possível notar a posição dos parafusos, sendo estes M4 de cabeça sextavada.

Figura 25: Peças montadas.



Fonte; Autor

Figura 26: Protótipo montado antes da fase final de pintura.



Fonte: Autor

Com uma análise bem criteriosa, é possível notar que umas das hastes semicilíndricas está mais curta. Este fato se deve à facilidade em montar e desmontar o equipamento. Com esta diferença, a ferramenta que realiza o aperto dos parafusos se movimenta sem grandes dificuldades.

A Figura 27 mostra as partes do dispositivo acabadas, com o furo onde será passado o fio e uma camada de tinta protetora, para evitar corrosão.

Figura 27: Peças usinadas e acabadas.

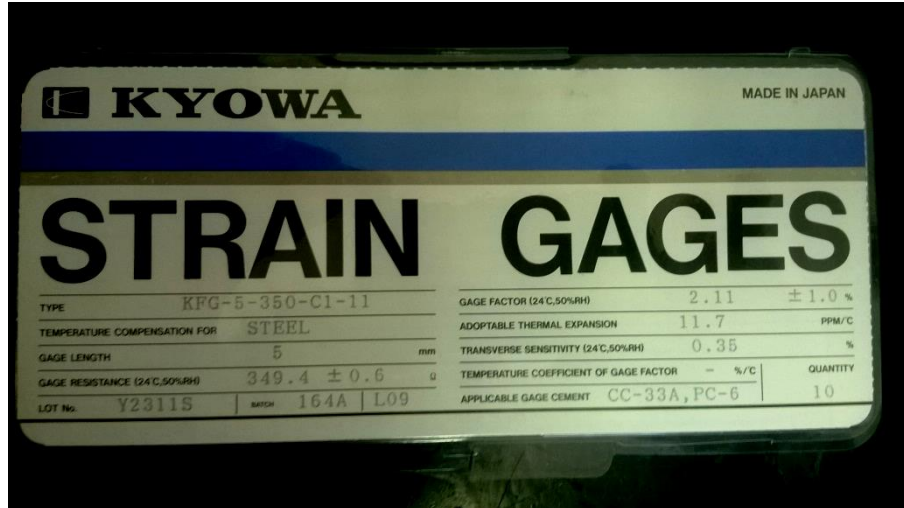


Fonte: Autor

3.5.3- Aplicação do extensômetro no Transdutor

Nesta fase, foram colados os extensômetros pelos técnicos, tomando os devidos cuidados. Esses equipamentos têm as características de acordo com a Figura 28.

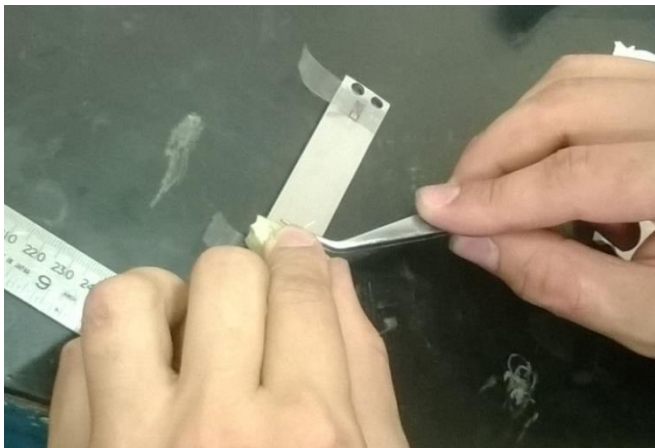
Figura 28: Características dos extensômetros utilizados.



Fonte: Autor

Com o objetivo de o extensômetro reproduzir rigorosamente as micro deformações do transdutor, esta etapa se torna bastante crítica na extensometria. O primeiro cuidado a ser tomado é na preparação da superfície. Esta deve estar isenta de impurezas grosseiras como tinta, graxa, e também impurezas menores como oxidação, umidade e até partículas imperceptíveis a olho nu. O técnico tem que tomar cuidado até mesmo com a gordura da própria mão, para não tocar na peça. Toda a manipulação deve ser feita com pinça como na Figura 29 (JUNIOR, 1989).

Figura 29: Preparação da superfície



Fonte: Autor

Outro cuidado a ser tomado é com a rugosidade da superfície. Esta deve ser lixada com uma sequência de lixas d'água partindo-se da mais grossa para a mais fina. Quanto mais perfeita e melhor acabada a superfície que se pretende colar o extensômetro mais preciso serão os resultados.

As ligações dos terminais são feitas através de fios de cobre soldados eletricamente como mostrado na Figura 30.

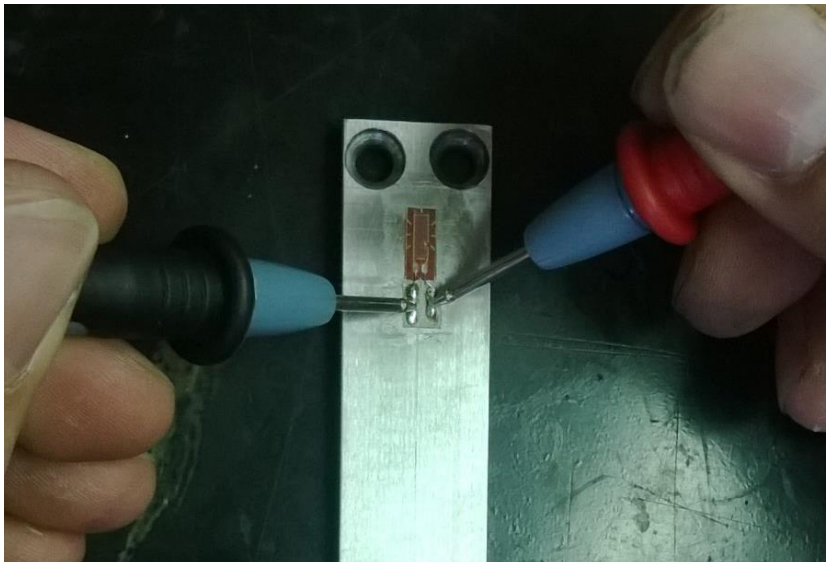
Figura 30: Soldagem dos extensômetros.



Fonte: Autor.

A verificação de que a soldagem foi realizada corretamente não podem prejudicar a leitura durante os testes, é verificada com um multímetro de acordo com a Figura 31.

Figura 31: Verificação de possíveis interferências.



Fonte: Autor

Após a aplicação do extensômetro a fase de construção está finalizada. O cabo que transmite o sinal tem aproximadamente 4 metros de comprimento, para facilitar os testes na fábrica. A Figura 32 mostra o resultado do dispositivo montado e pronto para os testes.

Figura 32: Dispositivo pronto para testes.



Fonte: Autor

3.6- Calibração

Nesta etapa foi fixado o dispositivo a uma barra disponível no laboratório de mecânica da Universidade Estadual Paulista em Guaratinguetá. Esta sala disponibiliza diversos aparelhos como o Spider, pesos para o teste e o suporte para que fosse fixado o dispositivo. O Spider é um aparelho com sistema de condicionamento de sinal que juntamente com um software chamado CatmanAp realizam a coleta dos sinais dos extensômetros. A Figura 33 mostra o protótipo fixado no suporte.

Figura 33: Dispositivo fixado no suporte.



Fonte: Autor

Para que a carga seja aplicada em todo o comprimento do cabo no dispositivo, simulando corretamente a força palmar, foi construído um suporte para aplicação dos pesos. A Figura 34 mostra este suporte que auxiliou na calibração e na aplicação dos pesos.

Figura 34: Suporte auxiliar para aplicação dos pesos.



Fonte: Autor

A calibração foi realizada aplicando alguns pesos ao dispositivo, simulando a força palmar do usuário. Neste caso, foram utilizadas algumas massas: hastes de suporte das massas (1,32 Kg) e massas de 8 Kg /7,64 Kg /7,64 Kg /3,06 Kg. A figura 35 mostra como foi realizado a calibração, aplicando as massas citadas.

Figura 35: Dispositivo e suporte de massas (calibração)



Fonte: Autor

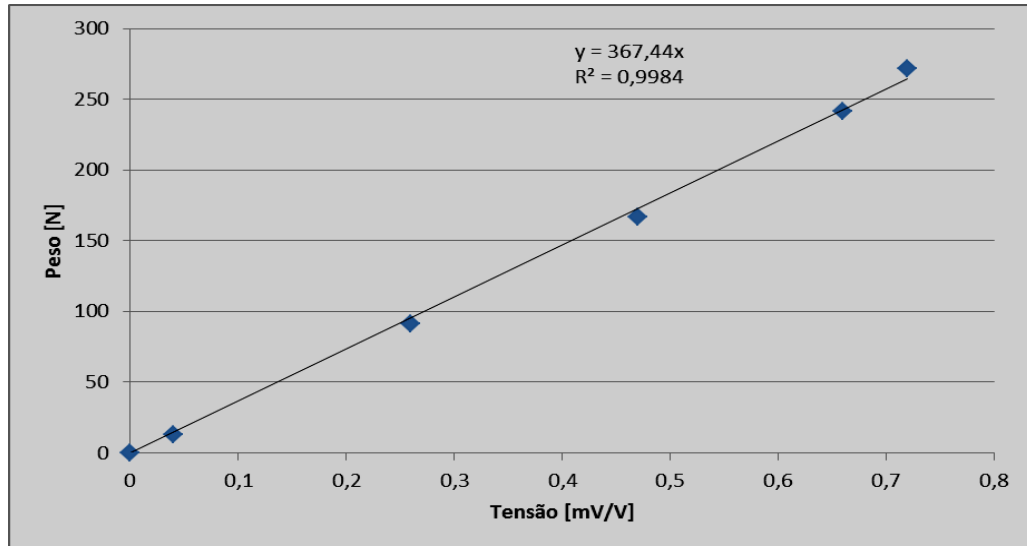
Com a aplicação das massas, obteve-se através do dispositivo Spider e do software CatmanAp os valores da tensão (mV/V). Estes valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da calibração.

<i>Massa [kg]</i>	<i>Massa acumulada [kg]</i>	<i>Peso [N]</i>	<i>Tensão [mV/V]</i>
0	0	0	0
1,32	1,32	12,94	0,04
8	9,32	91,42	0,26
7,64	16,96	166,37	0,47
7,64	24,6	241,32	0,66
3,06	27,66	271,34	0,72

Através da tabela 2, foi possível plotar um gráfico do peso versus tensão. Como esperado estes pontos formam uma reta e a equação desta reta ($y=367,44x$) é mostrada no gráfico 1.

Gráfico 1: Peso[N] versus Tensão[mV/V]



Fonte: Autor

3.7- Testes

Nesta etapa onde o dispositivo já estava finalizado, foram realizados alguns testes reais, simulando as atividades exercidas pelos funcionários na empresa estudada. Um funcionário foi orientado a executar suas atividades normalmente como se o fizesse com a grampeadeira real, porém utilizando o dispositivo simulador. Os cálculos e a construção foram baseados num valor máximo de força palmar de 294,3N. Este valor foi ultrapassado pelo funcionário somente no primeiro teste, porém não danificando o dispositivo, concretizando as expectativas. Os resultados deste teste serão fornecidos na seção Resultado dos Testes no Protótipo.

4- Resultados

4.1- Resultado dos Cálculos

Foi criada uma tabela no programa Excel para facilitar os cálculos e possibilitar a comparação dos valores com rapidez. A partir de algumas alterações em determinados elementos, se torna notório seus impactos no resultado final. Pode-se notar que foi alterado o valor de $\Delta V/v$ nas duas primeiras linhas da tabela, causando uma grande variação na tensão (σ), na estimativa de deformação (Y) e na espessura do transdutor (h). Posteriormente, variou-se o valor do comprimento da peça (l), nas linhas 3 e 4. Isto resultou na variação, não tão significativa da estimativa da deformação e da espessura do transdutor, e não variou a tensão.

Numa tentativa de adotar uma espessura de 5 mm para o transdutor, foi pré-definido um valor de 0,00095 para $\Delta V/v$. Com isto, o valor da tensão permaneceu no patamar aceitável, para que não ocorresse imprevistos com deformações permanentes ou mesmo fratura do transdutor. A estimativa de deformação também apresentou valores dentro do esperado.

Com relação ao final da Tabela 3 foram analisados os valores para o alumínio, sendo estes razoáveis, porém por ser mais comum, o aço foi escolhido para a construção.

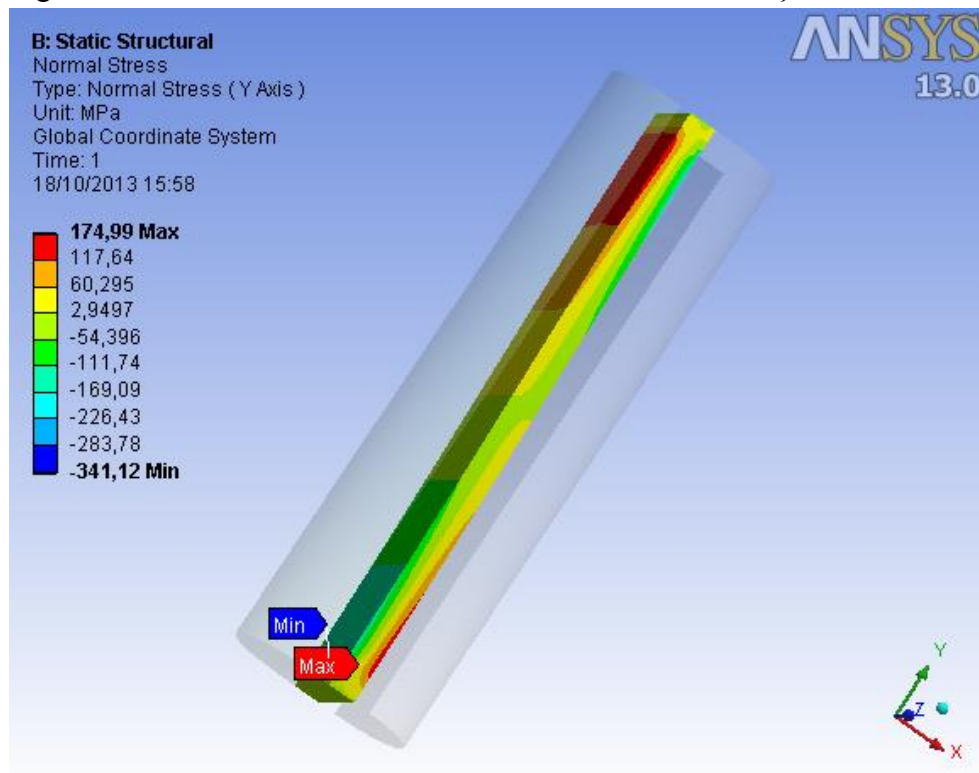
Tabela 3: Cálculos no excel para determinação de tensão, espessura do transdutor e estimativa da deformação.

F (N)	E (GPa)	$\Delta V/v$ (V/V)	ρ	l (m)	b (m)	h [mm]	Y [mm]	σ (MPa)
Aço								
294,3	2,05E+11	0,001	232189	0,08	0,02	4,1506	0,51	205
294,3	2,05E+11	0,002	464379	0,08	0,02	2,9349	1,45	410
294,3	2,05E+11	0,001	232189	0,08	0,02	4,1506	0,51	205
294,3	2,05E+11	0,001	232189	0,11	0,02	4,8670	0,83	205
294,3	2,05E+11	0,00095	220580	0,11	0,02	4,9934	0,77	194,75
Alumínio								
294,3	7,00E+10	0,001	79284	0,1	0,02	7,9413	0,42	70
294,3	7,00E+10	0,002	158568	0,1	0,02	5,6153	1,19	140
294,3	7,00E+10	0,003	237853	0,1	0,02	4,5849	2,18	210

4.2- Resultado da Simulação no Programa Ansys

Como já foi apresentado anteriormente, o programa Ansys ajuda o projetista simulando o dispositivo a ser estudado com certa precisão. Analisar as tensões presente durante o ensaio é uma tarefa indispensável. No caso, após a simulação foi obtido como resultado a tensão normal na direção Y como mostra a Figura 36.

Figura 36: Resultado no simulador da tensão normal na direção Y.



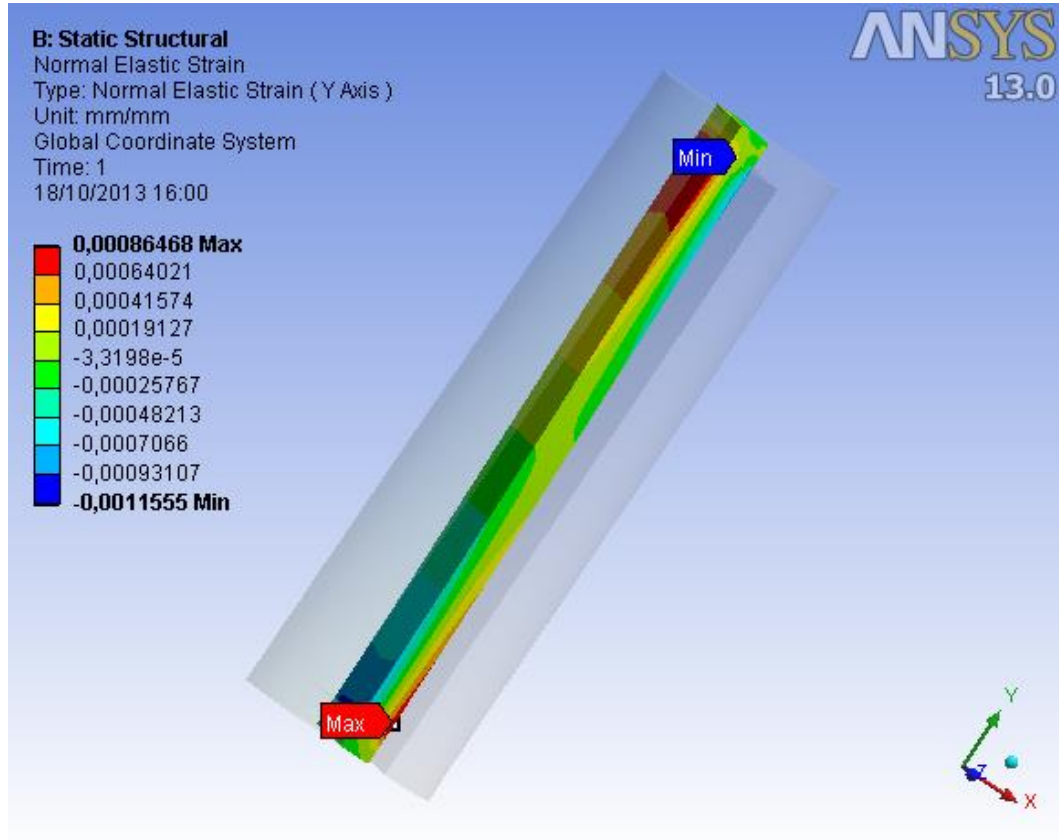
Fonte: Autor

Observando os valores a esquerda na Figura 36 e sua localização na peça simulada, é possível notar que se têm valores de tração e valores de compressão. Na região onde os extensômetros foram colados a tensão de tração máximo é de 174,99MPa e na região de compressão é de -169,09 MPa. Estes valores são aceitáveis para o aço utilizado na construção do dispositivo.

O sinal que o extensômetro emite para o Spider durante a deformação do transdutor é a deformação específica medida em V/V ou mm/mm, ou seja, adimensional. Na calibração os valores encontrados apresentados na tabela 2 são bem próximos dos valores obtidos com o programa. O programa apresentou um valor máximo de 0,86 mV/V para uma força palmar de

294,3N, enquanto que na calibração foi de 0,72mV/V para um peso aplicado de 271,34N. A figura 37 apresenta este resultado da deformação específica.

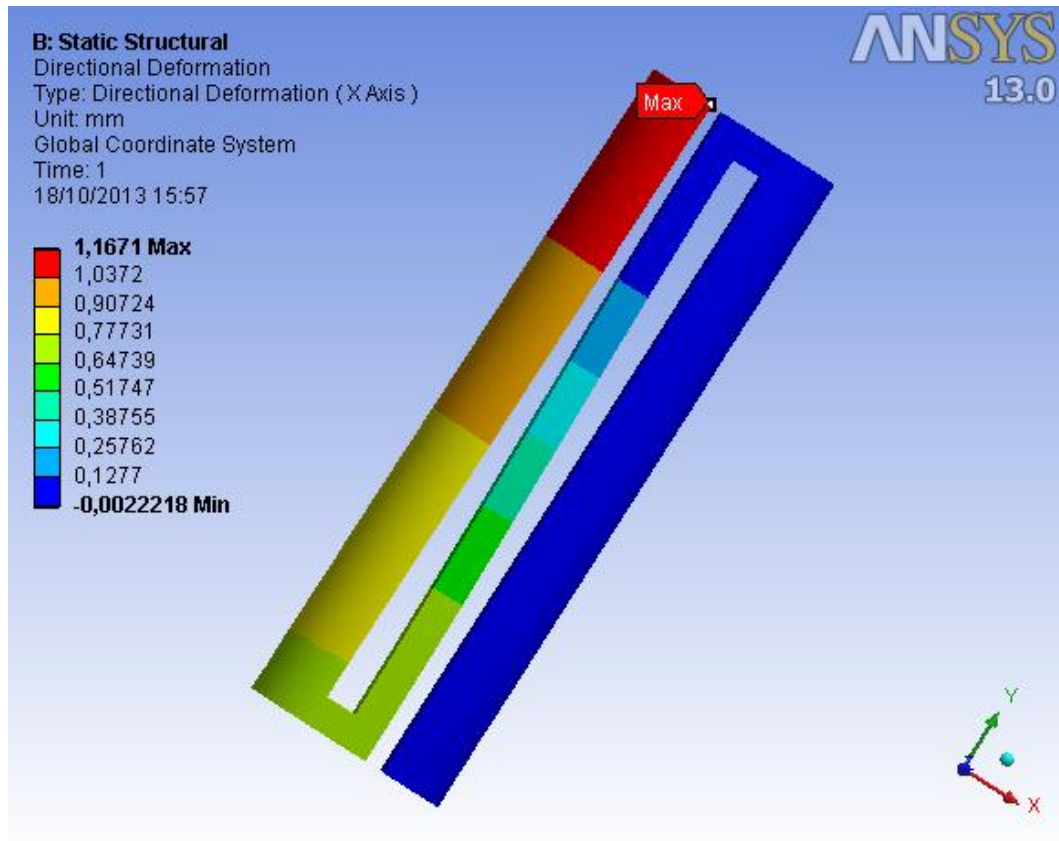
Figura 37: Resultado da deformação específica



Fonte: Autor

Durante os cálculos foi estimado uma deformação para o dispositivo, com a preocupação de um possível contato entre as partes, invalidando as medições. Na tabela 3 o valor encontrado para a estimativa da deformação do transdutor foi de 0,77 mm. Sendo assim, através do programa Ansys, obteve-se valores coerentes para a deformação direcional no eixo X, com valores em torno de 1mm como mostra a Figura 38.

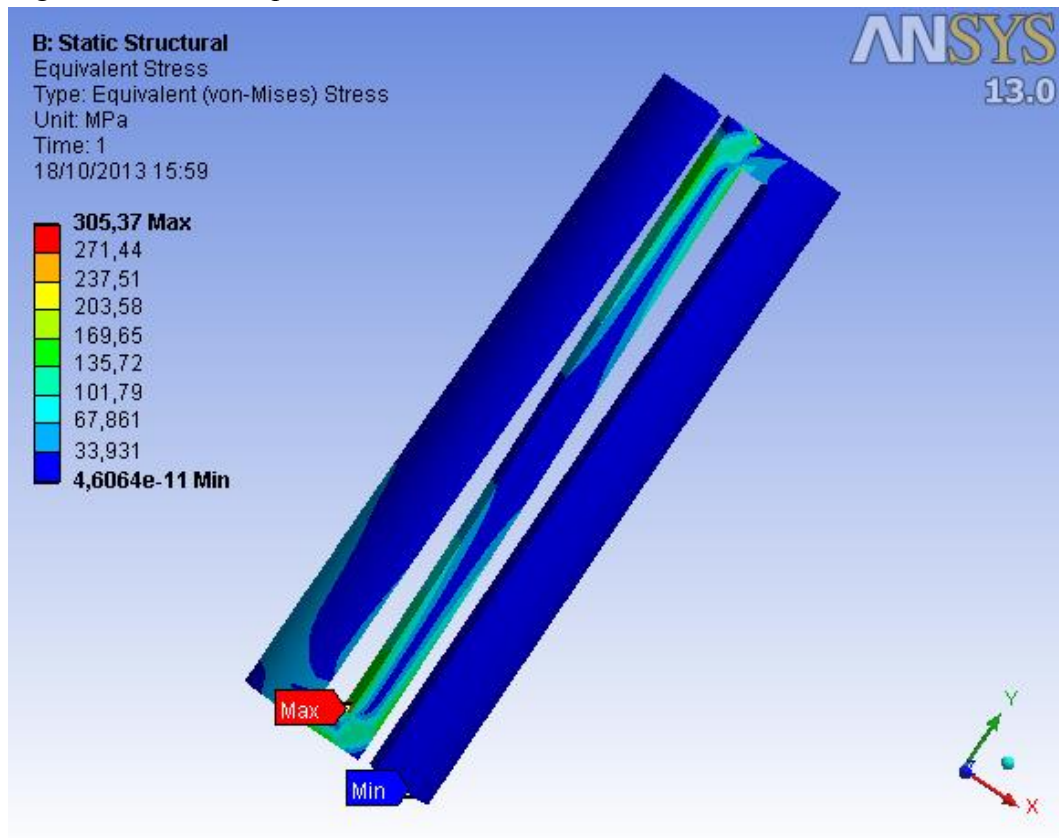
Figura 38: Deformação direcional no eixo X



Fonte: Autor

A tensão equivalente de von Mises esta apresentada na Figura 39. Os valores máximos à esquerda da figura são um pouco alto, porém se observar o dispositivo a predominância está na cor azul e verde, onde as tensões não passam de 169,65MPa. Sendo assim, os valores mostrados em vermelho são pontuais sem causar danos sensíveis ao dispositivo.

Figura 39: Tensão equivalente de von-Mises.



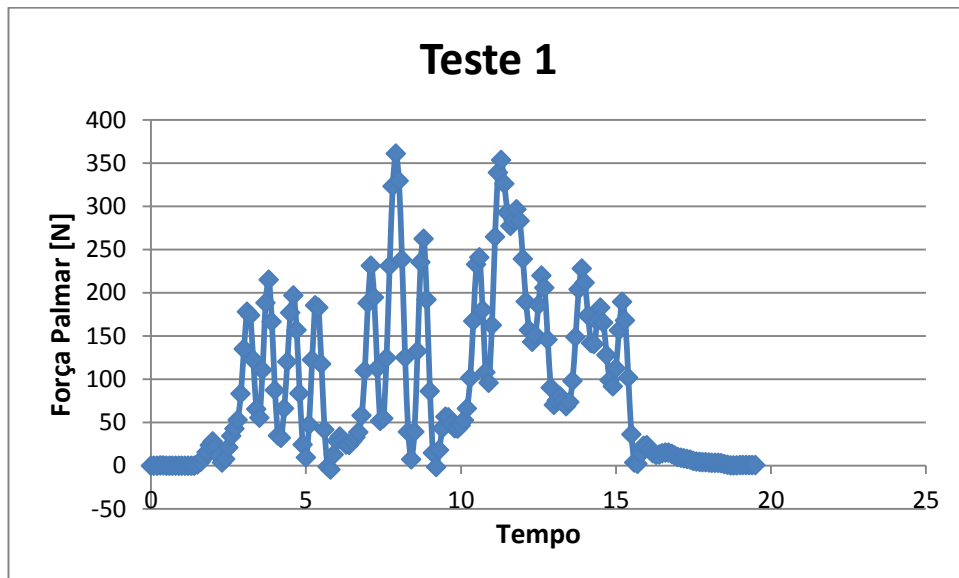
Fonte: Autor

Contudo, é possível observar que os valores calculados teoricamente com o auxílio do Excel, os valores obtidos com a simulação no programa Ansys e os valores resultantes da calibração são bem próximos mostrando que todas estas ferramentas se completam para uma boa análise do projeto.

4.3- Resultado dos Testes no Protótipo

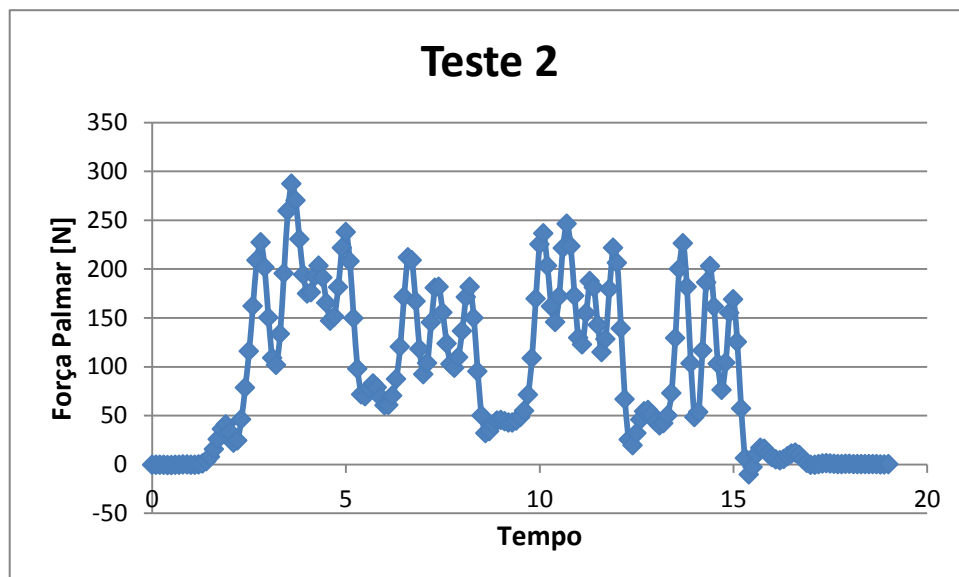
Os testes realizados com um funcionário da empresa após o dispositivo estar pronto e calibrado forneceram os gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1: Primeiro teste.



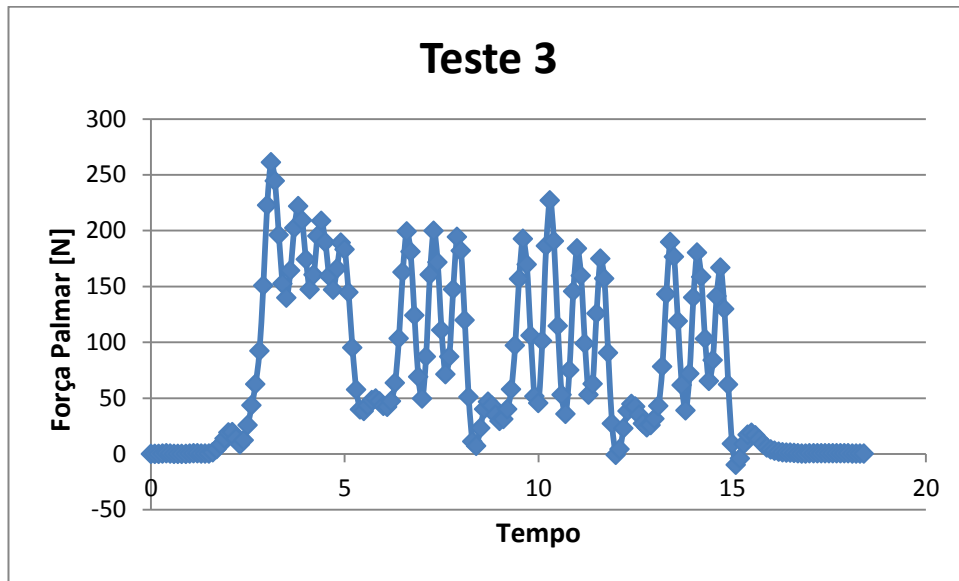
Fonte: Autor

Gráfico 2: Segundo teste.



Fonte: Autor

Gráfico 3 : Terceiro teste.



Fonte: Autor

Nestes testes é necessário desprezar os primeiros 5 segundos e os 5 últimos, adotando para efeito de análise somente os dados entre 5 e 15 segundos. Nos três gráficos é notório que a força que o funcionário realiza em suas atividades apresentam grandes picos, gerando assim possíveis danos físicos, assunto melhor estudado na tese do aluno de pós-graduação Daniel Rodrigues.

4- Conclusão

Com este trabalho foi possível mostrar a importância e a eficiência das ferramentas utilizadas na engenharia. O desenho no AutoCad trás uma noção melhor das dimensões do dispositivo, auxiliando o técnico que for executar a fabricação das peças. Da mesma forma o programa SolidWorks que oferece ferramentas de software 3D, colabora com a interpretação das ideias do projetistas e facilita a compreensão das partes envolvidas. Já o software de simulação Ansys, foi utilizado para se obter valores de tensão e deformação do dispositivo estudado. Importante salientar que a parte teórica é de extrema importância para os projetos na engenharia, pois fortalece e embasa os resultados do trabalho.

Os resultados da parte teórica, comparados com os valores coletados da simulação no software Ansys são bem próximos e satisfatórios para o estudo. A calibração, fase em que é testado o dispositivo, também apresentou valores esperados de acordo com os cálculos teóricos e os dados de tal programa. Em uma análise mais criteriosa, pode-se notar que a deformação específica fornecida pelo programa está entre 0,8 e 1 mV/V. Valor bem semelhante ao encontrado nos cálculos onde temos, para uma espessura de transdutor de 5mm, uma deformação específica calculada de 0,95 à 1 mV/V. E desta mesma forma quando na calibração, os valores encontrados durante o procedimento de adição de pesos, apresentaram um máximo de 0,72mV/V quando foi utilizado um peso de 27,66Kg. Com relação às tensões, no programa Ansys foi encontrado um máximo de 174,99MPa, enquanto que nos cálculos teóricos o valor é bem semelhante de 194,75MPa. Sendo assim é possível concluir que as diferentes maneiras de se obter valores importantes para o estudo na engenharia são eficientes e necessárias para uma boa análise.

Este trabalho foi de grande importância para auxiliar o estudo do aluno de pós-graduação Daniel Rodrigues, que tem como objetivo verificar a correlação entre a força e o limiar de contração muscular no complexo do ombro na atividade de montagem de bancos automotivos. O estudo do aluno Daniel tem como responsabilidade testar e analisar os dados obtidos com o dispositivo projetado e modelado neste trabalho.

Referências

BARRETO, E. **Extensometria- Manual Prático**. Ilha Solteira.

BARRETO, E. **Extensometria- Transdutores**. Ilha Solteira.

BITTERCOURT, M. L. **Análise Computacional de Estruturas**. Campinas: Editora Unicamp, 2010.

DALLY, J. W.; RILEY, W. F. **Experimental Stress Analysis**. Internacional Student Edition. ed. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1965.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5ª edição. ed. São Paulo: PEARSON- prentice Hall, 2004.

JUNIOR, J. C. D. A. **Medição de deformações forças e tensões (extensometria)**. Embu São Paulo Brasil: Kratos Dinamômetros LTDA, 1989.

SHIGUE, C. Y. **Extensômetros Elétricos**. DEMAR, Departamento de Engenharia de Materiais USP. Lorena. 2010.

TOMAZINI, J. E. **Apostila Fundamentos dos Elementos Finitos**. Guaratinguetá: [s.n.], 2011.

UGURAL, A. C. **Mecânica dos Materiais**. [S.l.]: LTC, 2009.