



**Alexandre Trommenschlager
Marlon Schulz**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS
DE TRAÇÃO**

Horizontina

2013

**Alexandre Trommenschlager
Marlon Schulz**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS
DE TRAÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ricardo Ferreira Severo; Mestre

**Horizontina
2013**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de tensão”

Elaborado por:

**Alexandre Trommenschlager
Marlon Schulz**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/12/2013
Pela Comissão Examinadora**

Prof. Me. Anderson Dal Molin
Presidente da Comissão Examinadora - Coordenador do Curso de Engenharia
Mecânica

Prof. Eng. Francine Centenaro
FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina
2013**

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aqueles que durante nossa caminhada nos acolheram e nos apoiaram, especialmente a nossos pais que nos deram base para possibilitar a conquista deste passo tão importante em nossas vidas. Sem seu suporte apoio e motivação dificilmente chegaríamos até aqui. Também dedicamos este trabalho ao nosso Mestre Ricardo Ferreira Severo que nos orientou e se tornou nosso amigo, incentivador e companheiro. Hoje não está mais conosco, mas esta presente em nossa memória.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeira- mente a Deus por nos fortalecer, nos proteger e nos guiar durante toda esta jornada, aos nossos pais pelo incentivo, compreensão, força e amor que nos deram. Agradecemos especialmente a aquele que além de mestre tornou-se amigo e companheiro Me. Ricardo Ferreira Severo, bem como aos demais professores que durante nossa passagem por esta instituição nos acolheram e nos transmitiram conhecimento, companheirismo e acima de tudo respeito. A todos os nossos mais sinceros agradecimen Muito Obrigado.

"Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível." (CharlesChaplin)

RESUMO

O presente projeto objetivou o desenvolvimento de uma bancada de ensaios de tração, visando realização de ensaios de tração para corpos de prova com diâmetros de até 6,35mm em aço SAE 1020. O projeto teve por base normas da ABNT. Utilizou-se também sistema hidráulico e aproveitamento de uma bancada com diversos componentes que foram cedidos para a realização do projeto. Com o auxílio de bibliografias, softwares e observação de equipamentos similares, informações foram coletadas e os componentes que são afetados durante os testes de tração e os que tiveram aquisição necessária foram dimensionados, produzidos ou adquiridos e testados. O equipamento foi montado e ao final da realização do teste de tração do corpo de prova proposto, o equipamento rompeu-o demonstrando que a bancada de testes de tração atendeu as especificações do equipamento.

Palavras-chaves:

Ensaio de Tração - Bancada de Testes Tração - Ensaio de Tensão

ABSTRACT

This project have as objective the development of a traction test bench, looking realization of traction tests for specimens with diameters smaller than 1/4" manufactured with steel SAE 1020, having as basis standards by ABNT, using hydraulic system and using a bench and using a bench with several components that was given to the project's realization. With the help of bibliographies, software and observation of similar stuff, information was collected and the components that are affected during the traction tests and the ones that had acquisition required, were dimensioned, produced or acquired and tested. The equipment had been set up and at the end of the realization of the traction test of the specimen, the equipment broke the specimen, demonstrating that traction test bench has met the equipment specifications.

Keywords:

Traction Test - Traction Testing Bench - Test of Tension

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de tensão-deformação do aço baixo teor de carbono.	13
Figura 2 - Alongamento de barras.....	14
Figura 3 - Comprimento efetivo de flambagem	15
Figura 4 - Áreas de aplicação da força e pontos fixos na chapa superior	24
Figura 5 - Análise da tensão na chapa de fixação superior	24
Figura 6 - Análise da deformação específica na chapa superior	25
Figura 7 - Área de aplicação da força na chapa inferior	25
Figura 8 - Área de aplicação dos pontos fixos na chapa inferior	26
Figura 9 - Análise da tensão na chapa de fixação inferior	26
Figura 10 - Análise da deformação específica na chapa de fixação inferior	27
Figura 11 - Vista lateral da bancada de testes	29
Figura 12 - Vista lateral da bancada de testes	30
Figura 13 - Dimensões externas da bancada.....	30
Figura 14 - Dimensões do conjunto de sustentação	31
Figura 15 - Conjunto chapa superior	32
Figura 16 - Conjunto chapa inferior	32
Figura 17 - Componentes da bancada.....	34
Figura 18 - Corpo de prova aço SAE 1020 Ø6,35 mm rompido.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1 ENSAIO DE TRAÇÃO	11
2.2 FORÇAS, TENSÕES E DEFORMAÇÕES	11
2.3 TRAÇÃO E COMPRESSÃO	12
2.4 LEI DE HOOKE	12
2.5 COMPORTAMENTO ELÁSTICO E PLÁSTICO DOS MATERIAIS	13
2.6 DEFORMAÇÕES DE BARRAS SUJEITAS A CARGAS AXIAIS.....	14
2.7 FLAMBAGEM DE COLUNAS.....	15
2.8 SISTEMA HIDRÁULICO.....	16
2.8.1 Bombas hidráulicas	17
2.8.2 Fluido hidráulico	17
2.8.3 Válvulas de controle direcional	18
2.8.4 Cilindros hidráulicos	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	20
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	20
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	22
4.1 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS	22
4.2 ANALISE DAS CHAPAS DE FIXAÇÃO SUPERIOR E INFERIOR	23
4.3 DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO HIDRÁULICO	27
4.4 MONTAGEM FINAL DO EQUIPAMENTO.	29
4.5 FUNCIONAMENTO DA BANCADA.....	33
4.6 TESTE DE TRAÇÃO.....	35
5 CONCLUSÕES	36
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A busca por um estudo pleno dos materiais e pela compreensão das condições estruturais e seus comportamentos, é parte do aprimoramento das técnicas de estudo, para isto necessita-se fazer uso de tecnologias, máquinas e equipamentos em geral o que torna possível tais análises.

Este trabalho tem por finalidade realizar o desenvolvimento de um modelo para realização de testes de bancada de tração em corpos de prova padronizados, visto que o custo de um equipamento novo para ensaios de tração é elevado e que é importante conhecer as propriedades mecânicas dos materiais através de testes de tração.

Para a efetivação do projeto são necessários determinar desde as dimensões dos corpos de prova, cargas, tensões, dimensões das estruturas, sistema hidráulico e demais componentes que tendo sua construção posta em prática deverá resultar em um modelo que realizara ensaios de tração.

O trabalho oferece a oportunidade de aprimoramento de técnicas e de conteúdos aprendidos em disciplinas como hidráulica, mecânica dos sólidos, elementos de máquinas entre outras através da demonstração prática no equipamento, gerando ganhos significativos no aprendizado.

O objetivo geral é realizar o desenvolvimento de uma bancada de testes de tração, gerando auxílio no ensino dos acadêmicos e por sua vez possibilitando estudos de materiais, produzindo dados para a confirmação de suas características. Tendo como objetivos específicos:

- Especificar a condição ideal para testes, como fixação e alinhamento do corpo de prova;
- Calcular as cargas e tensões sobre a estrutura que é afetada pelas forças dos testes de tração;
- Determinar a capacidade do sistema hidráulico;
- Construir equipamento capaz de realizar testes em corpos de prova de diâmetro até 6,35mm produzidos em aço SAE 1020;
- Comprovar o atendimento a capacidade exigida para os testes;

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa serão abordados os temas que são referência para a correta obtenção da bancada de ensaios de tração. Apresenta-se análise de estruturas, sistemas hidráulicos e as normas que foram usadas como base.

2.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Segundo Beer (1996) o ensaio de tração é utilizado para obter um diagrama de tensão-deformação do material ensaiado. Neste ensaio define-se o material a ser utilizado, usa-se um corpo de prova deste material como pode ser visto na Figura 10.

O corpo de prova é montado no equipamento e é tracionado, quando atinge-se um certo valor máximo de carregamento para o material o diâmetro do corpo começa a diminuir, causando a estrição do material, que após iniciada um carregamento mais baixo pode manter o corpo se deformando até causar a ruptura do material.

2.2 FORÇAS, TENSÕES E DEFORMAÇÕES

Para Beer (1996) onde há uma determinada barra onde a seção é submetida a uma carga axial encontram-se as tensões normais e de cisalhamento, causadas por aplicações de forças.

Sendo que a força por unidade de área ou a intensidade das forças quando aplicadas em uma barra ou componente, é chamada de força atuante, que quando dividida pela área da seção transversal resulta na tensão, como pode-se observar na Equação 1.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1)$$

Onde:

ε = deformação específica

δ = deformação

L = comprimento da barra.

Para Beer (1996), um dos grandes pontos ou aspectos a serem levados em consideração no projeto mecânico está relacionado a condição de deformação dos produtos em si bem como aos seus componentes, geralmente causada pela aplicação de forças sobre as seções dos componentes.

Tendo como fundamental o conhecimento destas grandezas de tensões e deformações, para a determinação estrutural dos componentes do projeto tornando-o seguro e de viabilidade econômica e assim sendo um dos principais passos a nível de projeto (BOTELHO, 2008).

2.3 TRAÇÃO E COMPRESSÃO

Como definição diz-se que a força de tração consiste em uma força paralela ao eixo da peça no sentido interior para o exterior fazendo com que a estrutura da peça tenda ao alongamento da sua seção transversal, ai entende-se por força de tração.

Para definição de compressão tem-se a atuação de uma força paralela ao eixo da peça no sentido exterior interior fazendo com que a estrutura da peça tenda a compressão da sua seção transversal, sendo que ai caracteriza-se a força de compressão.

2.4 LEI DE HOOKE

Segundo Beer (1996) estruturas são projetadas de modo a sofrerem apenas pequenas deformações as quais limitam-se apenas a zona que compreende de 0 a 0,0012 de deformação específica do diagrama de tensão e deformação.

Esta relação é conhecida como lei de Hooke e se deve ao matemático Robert Hooke (1635 – 1703). A lei de Hooke define a zona limite que separa categoricamente a zona de deformação elástica da zona de deformação plástica.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

Onde:

σ = tensão

E = módulo de elasticidade

ε = deformação específica

Sendo assim:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \quad (3)$$

Onde:

P = força axial centrada

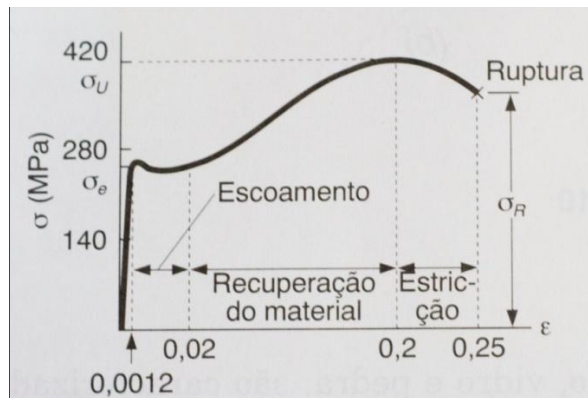
A = Área

2.5 COMPORTAMENTO ELÁSTICO E PLÁSTICO DOS MATERIAIS

Segundo Beer (1996) tem-se como comportamento elástico de um determinado material quando o mesmo por ações de cargas sofre deformações, e estas desaparecem com a retirada dos carregamentos.

Já para materiais que atingem valores de escoamento e se deformam permanentemente, diz-se que o material atingiu sua zona de deformação plástica, que vem a ser representada na Figura 1, nas zonas de escoamento, recuperação do material e estrição, que acontece quando se dá o alongamento do corpo, provocando a redução da área da seção transversal.

Figura 1: Diagrama de tensão-deformação do aço baixo teor de carbono.

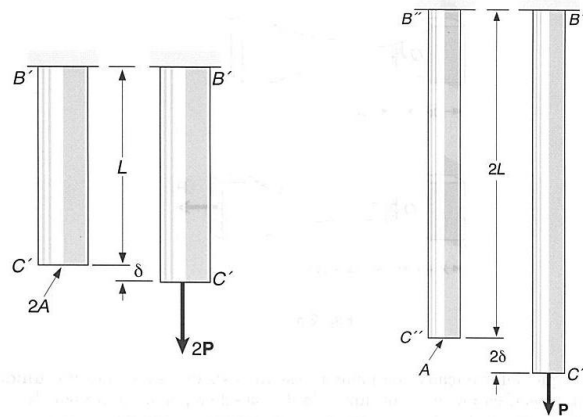


Fonte: Beer, 1996.

2.6 DEFORMAÇÕES DE BARRAS SUJEITAS A CARGAS AXIAIS

Tomando uma barra homogênea de comprimento L e seção transversal uniforme de área A sujeita a força axial centrada P , e sua tensão atuante não exceder o limite de proporcionalidade do material, pode-se aplicar a lei de Hooke e escrever:

Figura 2 - Alongamento de barras.



Fonte: Beer, 1996.

A Equação 4 só pode ser utilizada quando a barra for homogênea com módulo de elasticidade E constante, tiver sua seção transversal uniforme de área constante A e a carga aplicada em suas extremidades (BEER, 1996). Para barras de seções transversais, compostas de diferentes materiais ou se as forças forem aplicadas em outros pontos, deve-se dividi-las em diferentes segmentos que calculados individualmente satisfaçam as condições necessárias a equação 4.

$$\delta = \varepsilon \cdot L \quad (4)$$

Onde:

L = Sessão transversal

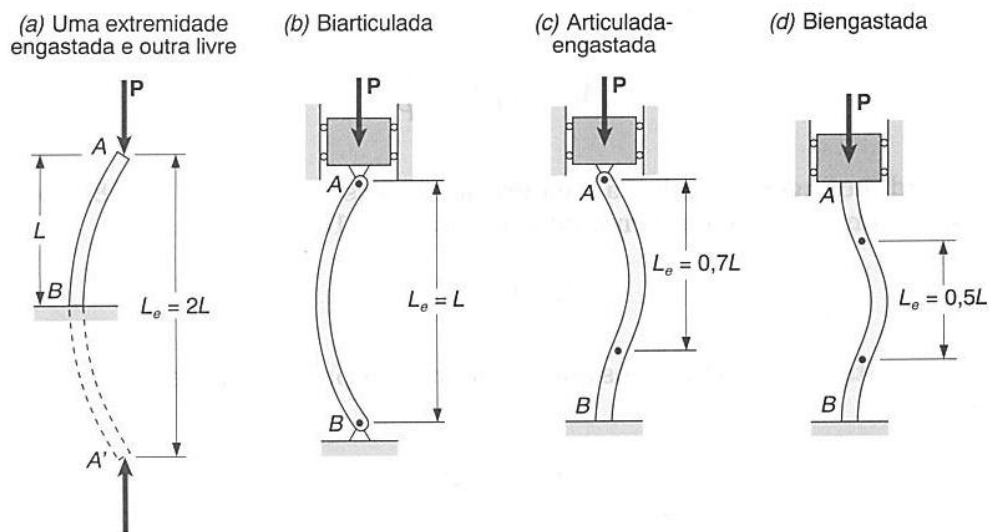
Utilizando-se a Equação 3 tem-se:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (5)$$

2.7 FLAMBAGEM DE COLUNAS

Para Souza (1982) em ensaios onde se tem compressão da estrutura, dimensiona-se o corpo de modo a se obter a tensão máxima menor que a tensão crítica, a qual provocaria o efeito de flambagem do corpo ou coluna. Na Figura 3 pode-se ver as equações de comprimento efetivo de flambagem conforme a forma de engaste.

Figura 3: Comprimento efetivo de flambagem.



Fonte: Beer, 1996.

Para o dimensionamento de colunas utiliza-se a Equação 6 e a Equação 7:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (6)$$

Onde:

P_{cr} = carga crítica

E = coeficiente de elasticidade

I = momento de inércia

L = comprimento do corpo ou coluna.

L_e = comprimento efetivo de flambagem, que é dado por $\frac{1}{2} \cdot L$

A tensão crítica pode ser obtida de maneira semelhante pela Equação 7:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r)^2} \quad (7)$$

Onde:

σ_{cr} = tensão crítica

r = raio de giração

2.8 SISTEMAS HIDRÁULICOS

Para Linsingen (2003) os sistemas hidráulicos podem ser definidos como uma série de componentes ou elementos físicos capazes de por meio de um fluido realizar a transferência de energia, permitindo a transmissão e o controle de movimentos. Tendo por tanto como ponto de partida aos estudos que um sistema hidráulico consiste em um onde uma energia de entrada, pode ser convertida e condicionada, de modo a se ter sua conversão de saída em uma energia mecânica útil.

Palmieri (1997) afirma que cada tipo de aplicação ou função desejada, somos capazes de estimar uma infinidade de circuitos hidráulicos, que podem variar de simples a extremamente complexos, porém sua estrutura básica obedece sempre a um mesmo organograma o qual divide o sistema em três partes principais.

O primeiro dos subsistemas vem a ser o sistema de geração, que como a própria nomenclatura sugere é o responsável pela geração da energia a ser transmitida pelo sistema, geralmente composto por reservatório, filtros, bombas, motores e outros componentes que podem ser considerados acessórios.

Como segundo subsistema há o sistema de distribuição de fluido, e de controladores tanto de vazão, como pressão e direcionais, responsáveis pela capacidade do sistema em converter a energia cinética e fornecê-la aos atuadores.

Já o terceiro subsistema, abriga os atuadores hidráulicos, que vem a ser os cilindros motores e osciladores, estes responsáveis por transformar a energia cinética recebida em energia mecânica útil.

Em Palmieri (1997) sistemas hidráulicos podem ser classificados levando-se em conta fatores relevantes ao projeto, aplicação e uso dos mesmos, os quais são

classificados de acordo sua pressão, sua aplicação, com o tipo de bomba, e pelo tipo de controle de direção.

Para Linsingen (2003) essas características são definidas pela forma como que o fluido irá se deslocar dentro do sistema, classificando-o, sendo que existem vários esquemas construtivos de sistemas, que podem ser agrupados em diferentes princípios.

2.8.1 Bombas hidráulicas

Para Palmieri (1997) bomba é o item responsável pela geração de vazão ao sistema, o que também a torna responsável pelo acionamento dos atuadores, sendo assim define-se por bomba o mecanismo responsável por transformar energia mecânica em hidráulica.

As bombas podem ser divididas em dois grupos, as de deslocamento não positivo, e as de deslocamento positivo. As bombas de deslocamento não positivo, geralmente as centrífugas, são utilizadas para deslocamentos de vazão sendo que o menor aumento de pressão reduz muito a sua capacidade.

As bombas de deslocamento positivo por características construtivas, tem como peculiaridade vedação mecânica de entrada e saída de fluido, trabalhando geralmente com pequenos volumes por ciclo, proporcionando vazão bastante uniforme, e podem ser empregadas em usos onde se quer altas pressões de trabalho.

2.8.2 Fluido hidráulico

O fluido hidráulico constitui o meio de propagação de energia necessário a transferência da mesma a qualquer que seja o sistema hidráulico, o mesmo deve ser compatível com as exigências dos demais componentes do sistema atendendo as suas necessidades. O fluido também deve levar em consideração variáveis que vão de locais de operação agressivos, temperaturas de trabalho e pressões de trabalho Palmieri (1997).

Segundo Palmieri (1997) a viscosidade aliada a outros fatores como densidade, peso específico e massa específica, são fatores importantes no momento de selecionarmos o fluido empregado no sistema. Para a viscosidade que é um dos

fatores mais importantes, pode-se obtê-la, pela medição através do viscosímetro em diferentes faixas de temperaturas, já que a viscosidade diminui relativamente ao ponto em que a temperatura sobe e aumenta em menor proporção a medida em que a pressão aumenta.

Outro ponto a ser levado em consideração, é o grau de compressibilidade do fluido, já que para a maioria dos casos quanto mais resistência à compressão o fluido apresentar a uma temperatura de trabalho predeterminada melhor, pois assim o sistema hidráulico tem menores taxas de variação de rendimento e menores níveis de oscilações de pressão e vazão.

2.8.3 Válvulas de controle direcional

Segundo Palmieri (1997), grande parte dos sistemas hidráulicos necessitam de meios para controlar a direção e o sentido do fluxo do fluido. Com este controle consegue-se obter os movimento desejado dos atuadores, permitindo efetuar o trabalho exigido.

As válvulas de controle direcional controlam a direção e o sentido do fluxo de fluido. Estas válvulas podem ter múltiplas vias que com o movimento de um só elemento pode-se controlar a direção e o sentido de um ou mais fluxos de fluido.

2.8.4 Cilindros hidráulicos

Segundo Palmieri (1997), os cilindros hidráulicos, são atuadores hidráulicos lineares, responsáveis por transformar a energia ou potência hidráulica em energia ou potência mecânica.

Os cilindros possuem diferentes construções e arranjos e podem ser divididos em duas categorias principais, as quais podem-se identificar como sendo cilindros de simples ação e cilindros de dupla ação.

Os cilindros de simples ação são cilindros que possuem movimento gerado por pressão e vazão hidráulica em apenas um sentido, sendo que no sentido oposto a este o movimento se dá por meio de outros agentes, seja a gravidade, molas ou outro qualquer que não seja o fluido.

Os cilindros de dupla ação diferem-se do anteriormente citado na condição de que este necessita do fluido do sistema para realizar o movimento em ambas as

direções, sendo assim o fluido pode ser direcionado a qualquer uma de suas tomadas gerando assim o movimento. Para pistão de dupla ação utilizam-se as seguintes Equações 8, 9, 10 e 11:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ruptura}}{s} \quad (8)$$

Onde:

σ_{adm} = tensão admissível

$\sigma_{ruptura}$ = tensão de ruptura

S = coeficiente de segurança

$$P = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Onde:

F = força

P = pressão

A = área

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (10)$$

Onde:

A = área

D = diâmetro

$$A_c = A_p - A_h \quad (11)$$

Onde:

A_c = área da coroa

A_p = a área do pistão

A_h = área da haste

Após realizada a revisão bibliográfica foi possível dar sequência a metodologia do projeto.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Como metodologia buscou-se obter informações a respeito do equipamento a ser projetado e construído, através de bibliografias e observação de outras bancadas de ensaio de tração.

O passo inicial deste trabalho foi a busca pelas características que o equipamento deve ter, como a força que o cilindro deve exercer, tamanho da área de testes, materiais para construção dos itens a serem dimensionados, ou seja os seus requisitos básicos. Após a definição de suas características deu-se início a fase de cálculos dimensionais e estruturais, onde foram utilizadas bibliografias, ou o software.

Por fim deu-se início à construção da bancada de testes, sua aferição e seus testes práticos, para a verificação de que o mesmo atingiu seus objetivos.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para este trabalho foram utilizadas bibliografias para a pesquisa e também para a construção da bancada. Destes pode-se citar para a parte de pesquisa as bibliografias que envolvem resistência dos materiais, NBR's e hidráulica. Para a parte de desenho e simulações, utilizou-se o software Solid Works e seu complemento Simulation.

Para os materiais que compõem a bancada de testes, visando a minimização de custos, foram utilizados materiais de uma bancada de hidráulica pré-existente cedida pela FAHOR. Os principais componentes aproveitados foram estrutura, bomba, motor e comando hidráulico. O comando hidráulico tem oito vias que equipa originalmente as colheitadeiras SLC modelo 6200. A bomba hidráulica é da marca BOSCH modelo DF 545 com uma vazão de até 16 litros por minuto e pressão máxima nominal de até 250 Bar. O motor é da marca WEG 7,5 kw, 10 hp 380v, responsável pela força motora do sistema, mangueiras hidráulicas marca GATES que suportam cargas de até 275 Bar.

Um cilindro hidráulico tipo dupla ação fora especialmente dimensionado após definida a pressão que a bomba pode fornecer e produzido para atingir uma força

máxima de 10000 kgf. O cilindro foi construído com um corpo de aço SAE 1020 com rosca externa para fixação, e com sua haste em aço SAE 1045 trefilado, seu curso é de 200mm.

A estrutura que suporta as cargas durante o teste é composta por um estrutura metálica de duas chapas com reforços e quatro vigas, as chapas superior e inferior são de material aço SAE 1020 laminado, e as vigas de sustentação em aço SAE 1020 trefilado.

Os corpos de prova foram feitos com base na NBR 6152, sendo que foram usinados corpos de prova com o diâmetro de 6,35mm, sendo que as extremidades apresentam 20mm de rosca de 1/2"-12F e comprimento total de 100mm produzidos em aço SAE 1020.

Para a construção do equipamento, utilizou-se a bancada já existente, aproveitando seus equipamentos e fixações, pois a mesma era uma bancada hidráulica que dispunha de reservatório, motor, filtro, mangueiras, bombas, comando hidráulico, polias e correia.

Reduziu-se o tamanho da bancada, cortando-se parte dela para não ficar maior que o necessário. Com o dimensionamento do cilindro realizado, terceirizou-se sua fabricação e com o cilindro produzido dimensionou-se as bases superior e inferior.

Soldou-se a base inferior, montou-se as vigas e a base superior, soldando-as após. Com a estrutura de testes prontas, fora montado o cilindro hidráulico, que permitiu montar as mangueiras e o manômetro com ponteiro de arraste adquirido. Após foi montada a mangueira que vai do reservatório a bomba, a que vai da bomba ao comando hidráulico e a que vai do comando hidráulico ao filtro. Com as mangueiras instaladas, verificou-se se há vazamentos que após solucionados o equipamento fora testado, desmontado, a bancada fora pintada e após a cura da tinta montou-se os componentes e testou-se novamente o funcionamento da bancada.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Aqui serão apresentados os cálculos de dimensionamento da estrutura do equipamento de ensaios bem como os cálculos de dimensionamento do pistão hidráulico que equipa a bancada. Serão expostos abaixo os resultados dos cálculos e simulações computacionais obtidos durante o projeto da bancada.

4.1 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS

Para determinar as tensões admissíveis das barras de sustentação do conjunto, segundo Beer (1996) o aço ASTM A-36 tem sua tensão de ruptura entre 408 a 562 MPa, então visto que este material é similar ao SAE 1020 fora considerado que a tensão de ruptura 500 MPa, a área da seção da barra de 0,00114 m², carga de 24,51 kN e fator de segurança S = 2. Com estes dados calculou-se então a tensão admissível, a deformação e a deformação específica.

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{s} \quad (12)$$

sendo assim:

$$\begin{aligned} \sigma_{adm} &= \frac{500.000 \text{ kN/m}^2}{2} \\ \sigma_{adm} &= 250.000 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma &= \frac{f}{a} \\ \sigma &= \frac{24,51 \text{ kN}}{0,00114 \text{ m}^2} \\ \sigma &= 21.500 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sendo assim tem-se $\sigma = 21.500 \text{ kN/m}^2 < 250.000 \text{ kN/m}^2$ o que garante a integridade dos componentes.

Para deformação das barras utilizou-se módulo de elasticidade $E = 207 \text{ GPA}$ e força $P = 24516,625 \text{ N}$ e comprimento $L = 0,33 \text{ m}$ Então calculou-se:

$$\delta = \frac{P \cdot L}{A \cdot E} \quad (13)$$

$$\delta = \frac{24,51\text{kN} \cdot 0,33\text{m}}{0,00114\text{m} \cdot 207000000\text{kN/m}^2}$$

$$\delta = 0,0000342\text{m}$$

Então calculou-se a deformação específica:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (14)$$

$$\varepsilon = \frac{0,0000342\text{m}}{0,33\text{m}}$$

$$\varepsilon = 0,00010$$

A flambagem das barras foi calculada através das seguintes fórmulas, levando em consideração os valores máximos atingidos.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (15)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 207000000\text{kN/m}^2 \cdot 0,000000103\text{m}^4}{(0,165\text{m})^2}$$

$$P_{cr} = 7729,28\text{kN}$$

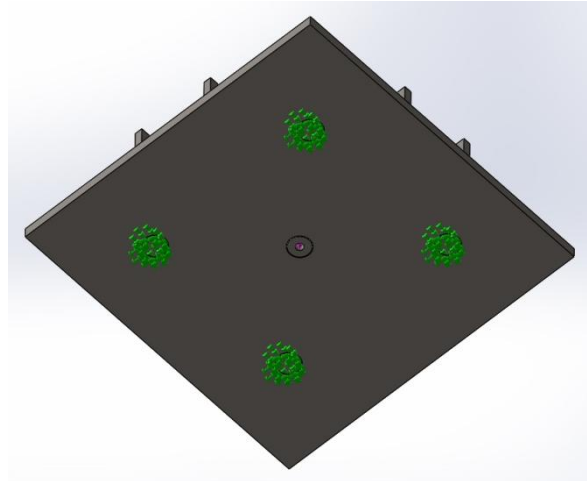
Então como a carga aplicada de 24516,65N (2500kgf) por barra é menor que 7.729.280N ficando abaixo do limite de flambagem.

4.2 ANÁLISE DAS CHAPAS DE FIXAÇÃO SUPERIOR E INFERIOR

Para o dimensionamento destes componentes foram utilizados ensaios computacionais, através dos quais pode se obter a confirmação dos resultados. Para tanto foi aplicada uma carga de 49.033,25 N em cada uma das chapas de aço SAE 1020 com espessura de 19,05 mm, reforçados com barras de 50,8 mm por 12,7 mm de espessura e que segundo os resultados da análise, atenderam os requisitos de tensão e deformação. Tanto na chapa superior quanto na chapa inferior modelou-se o conjunto soldado como uma peça única, sem terem sido inseridos os cordões de solda. O tipo de teste utilizado fora estático, a malha utilizada foi triangular com tamanho de 19,3mm, com a força de 5000kgf aplicada nas áreas onde estão as

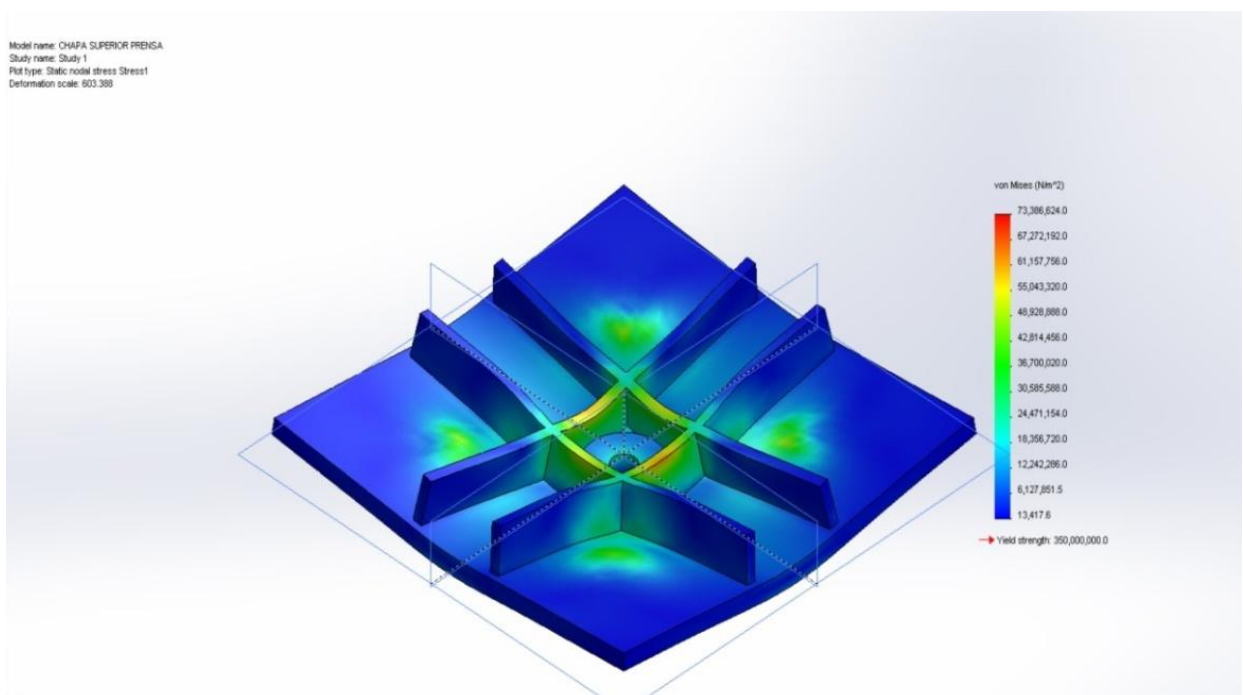
setas rosas nas Figuras 4 e 7 , e os pontos fixos que estão onde são soldadas as barras são representados pelas setas verdes nas Figuras 4 e 8. O material aplicado fora o AISI 1020 que corresponde ao aço SAE 1020.

Figura 4 -Áreas de aplicação da força e pontos fixos na chapa superior.



A análise da tensão resultou em uma tensão máxima de 73,36 MPa e a tensão admissível do aço SAE 1020 laminado é de 350 MPa, conforme pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 - Analise da tensão na chapa de fixação superior.



A análise da deformação específica na chapa superior resultou em um valor de 0,0002721, ficando abaixo da zona de deformação plástica que é de 0,001 no diagrama da Figura 1. Pode-se observar a análise na Figura 6.

Figura 6 - Análise da deformação específica na chapa superior

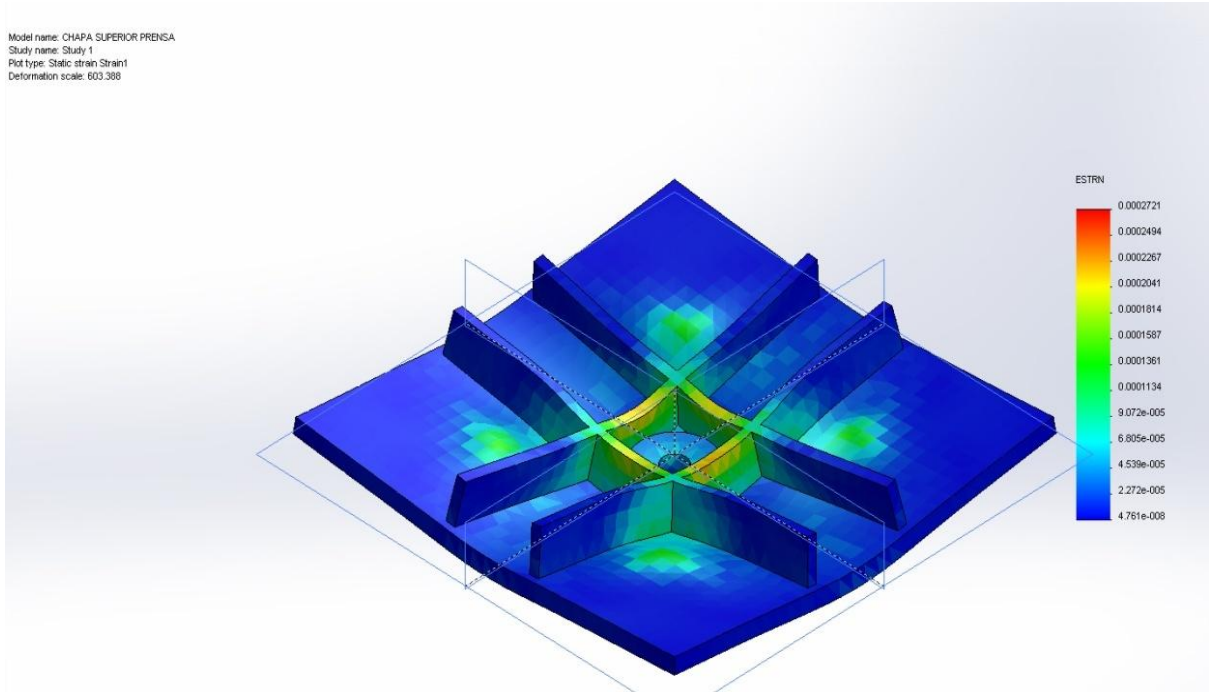


Figura 7 - Área de aplicação da força na chapa inferior

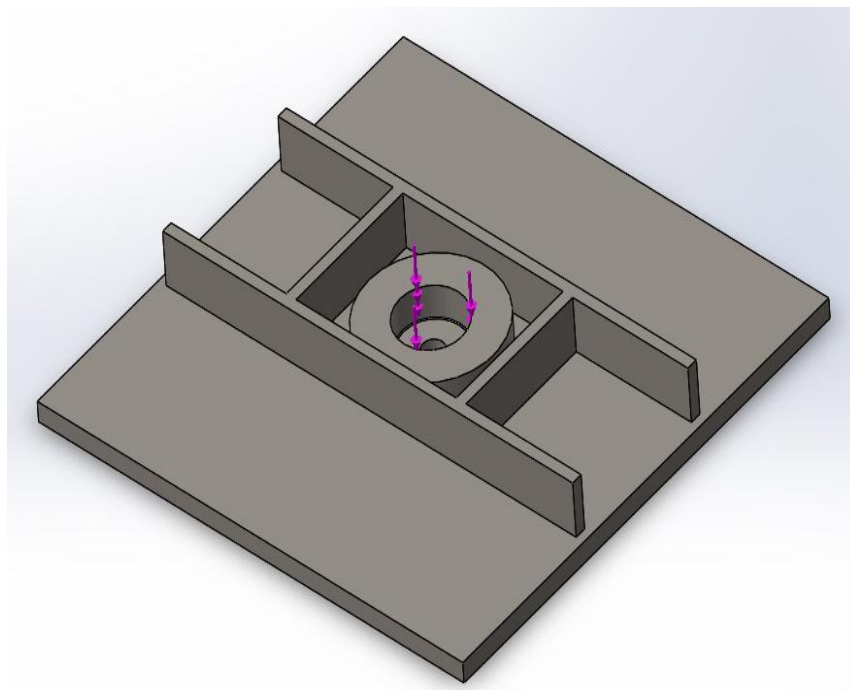
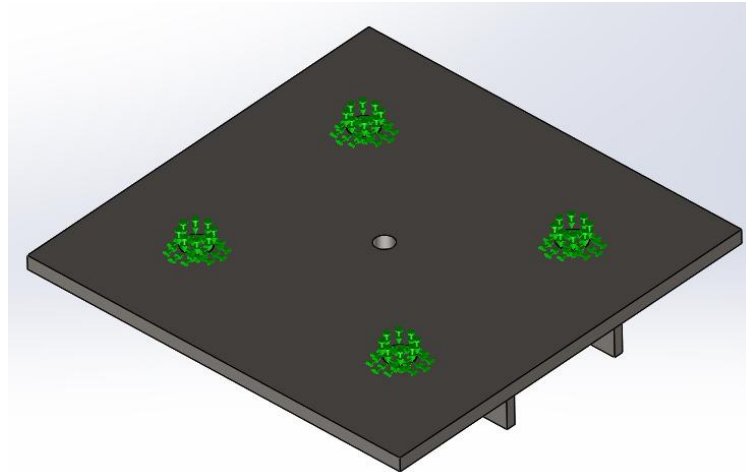
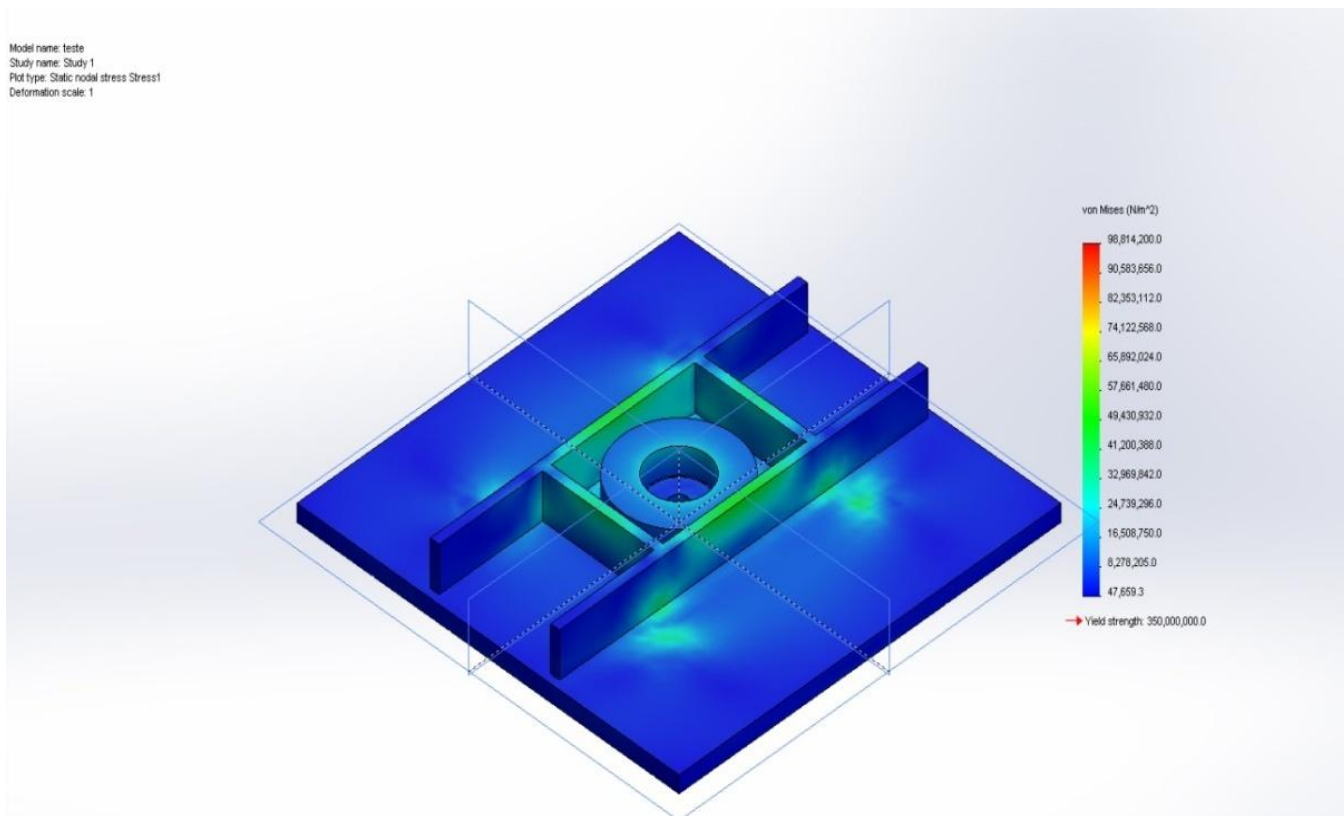


Figura 8 - Área de aplicação dos pontos fixos na chapa inferior



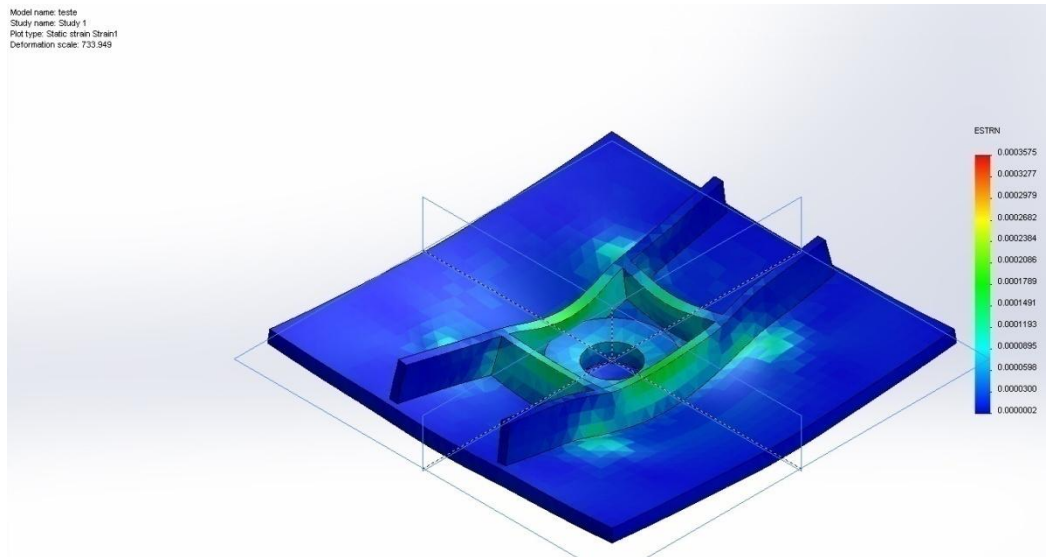
A análise da tensão na chapa de fixação inferior resultou em uma tensão máxima de 98,91 MPa e a tensão admissível do aço SAE 1020 laminado é de 350 MPa, conforme pode-se observar na Figura 9.

Figura 9 - Análise da tensão na chapa de fixação inferior.



A análise da deformação específica na chapa inferior resultou em um valor de 0,0003575, ficando abaixo da zona de deformação plástica que é de 0,001 no diagrama da Figura 1. Pode-se observar a análise na Figura 10.

Figura 10 - Análise da deformação específica da chapa de fixação inferior.



Os resultados obtidos foram inferiores aos limites estipulados pelas características dos materiais utilizados, sendo assim definiram-se os materiais a serem utilizados nas chapas de fixação superior e inferior.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO HIDRÁULICO

Para dimensionamento do cilindro hidráulico foram realizados os cálculos baseados em uma força F de 98066 N, na haste do cilindro, com uma pressão P de 250 Bar aplicada à coroa do cilindro. Esta força de 10000 kgf foi definida devido aos equipamentos que foram cedidos e para que o mesmo trabalhe sem forçar seus componentes.

Outro dado importante a ser levado em consideração foi a tensão de escoamento e a tensão de cisalhamento do aço SAE 1020 trefilado que compõem a haste do cilindro, foi utilizado um coeficiente de segurança S igual a 2, portanto tem-se os seguintes cálculos para dimensionamento.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ruptura}}{s} \quad (16)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{500.000.000}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 250.000.000N/m^2$$

Sendo assim tem-se a área do cilindro dada por:

$$P = \frac{F}{A} \quad (17)$$

$$250.000.000N/m^2 = \frac{98066N}{A}$$

$$A = 0,000392264m^2 \text{ ou } 392,264 \text{ mm}^2$$

Tendo o valor da área da haste calcula-se o diâmetro através da Equação 18:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (18)$$

$$392,264mm^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D_h = 22,34mm$$

Para fins de projeto, usou-se o diâmetro de 25 mm pois o encontrado no mercado é de 25,4mm reduzindo o tempo de usinagem e tendo um material ainda mais robusto.

Após o cálculo do diâmetro da haste e tendo a pressão máxima da bomba de 250 bar e a força a ser aplicada de 1000 kgf, dimensionou-se o cilindro através dos cálculos:

$$A_{coroa} = A_{pistão} - A_{haste}$$

$$A_{coroa} = A_p - 0,000491m^2$$

$$P = \frac{F}{A} \quad (19)$$

$$2549290,53 \frac{kgf}{m^2} = \frac{10.000kgf}{(A_p - 0,000491m^2)}$$

$$A_p = 0,00442m^2 \text{ ou } 4420mm^2$$

Tendo os valores das áreas foi possível calcular o diâmetro do pistão através do cálculo:

$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (20)$$

$$0,00442m^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D_p = 75,02mm$$

Para fins de construção e materiais disponíveis no mercado utilizou-se diâmetro do pistão de 76 mm, sendo assim subtrai-se a área da haste da área do pistão e tem-se o valor da área da coroa.

$$A_c = A_p - A_h \quad (21)$$

$$A_c = 392,264mm^2 - 4420mm^2$$

$$A_c = 4027,74 mm^2$$

4.4 DIMENSÕES FINAIS DO EQUIPAMENTO

Conforme pode-se observar nas Figuras 11 e 12, equipamento está montado sobre uma plataforma móvel que permite seu deslocamento para vários pontos tornando a banca uma ferramenta prática.

Figura 11 - Vista da lateral da bancada de testes.

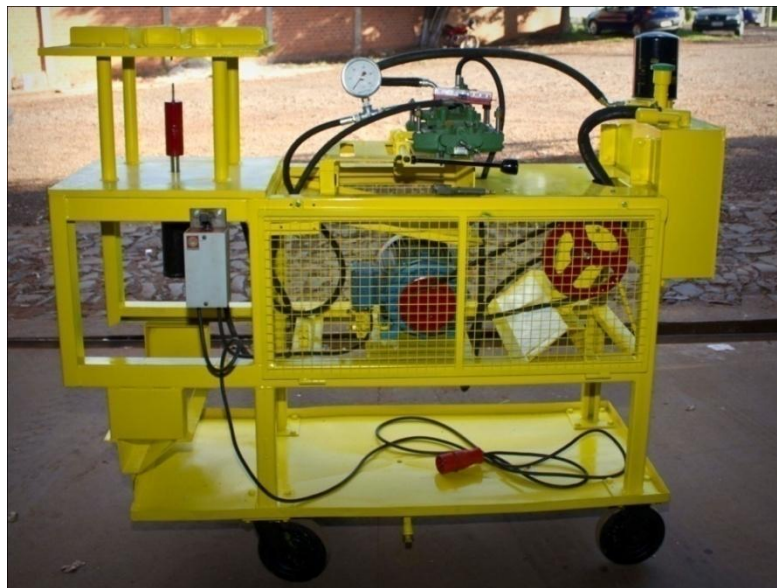
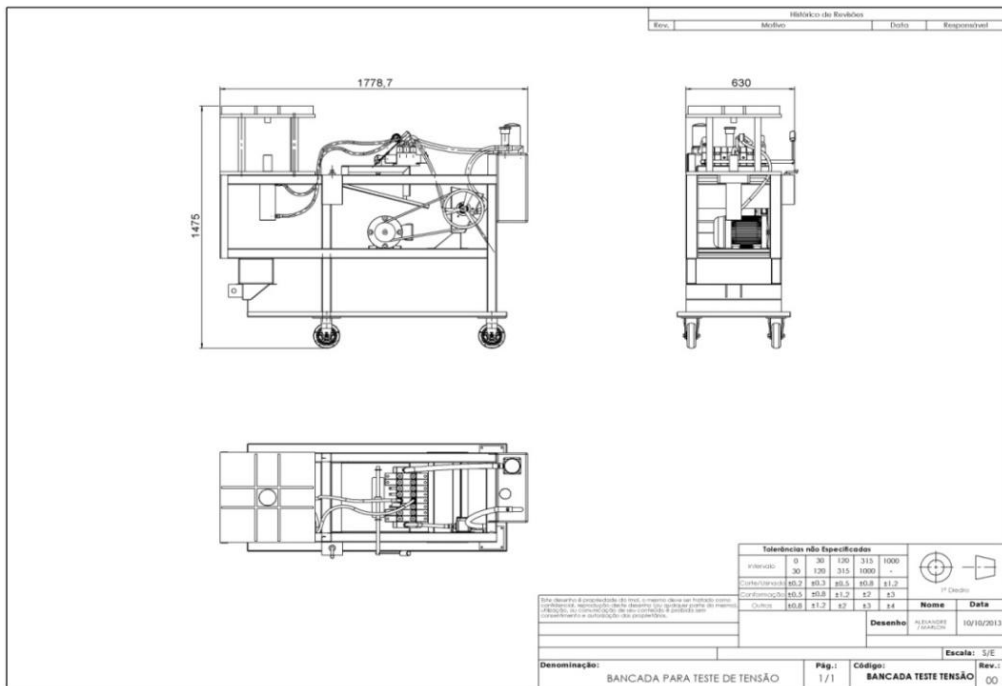


Figura 12 - Vista da lateral da bancada de testes.



A bancada tem dimensões externas de 630 mm de largura, 1475 mm de altura e comprimento de aproximadamente 1780 mm conforme pode-se visualizar na Figura 12.

Figura 13 - Dimensões externas da bancada.



Para a montagem final das chapas superior e inferior, foram alinhadas as chapas, garantindo que durante os testes os corpos de prova estejam alinhados, fator importante para evitar distorções nos resultados dos testes. Após a montagem e solda das chapas, as mesmas ficaram com uma distância de 330 mm para que possibilite também fazer o teste de corpos de prova maiores que o que utilizou-se como padrão. Estas e outras propriedades dimensionais podem ser observadas nas Figuras 14,15 e 16.

Figura 14 - Dimensões do conjunto de sustentação.

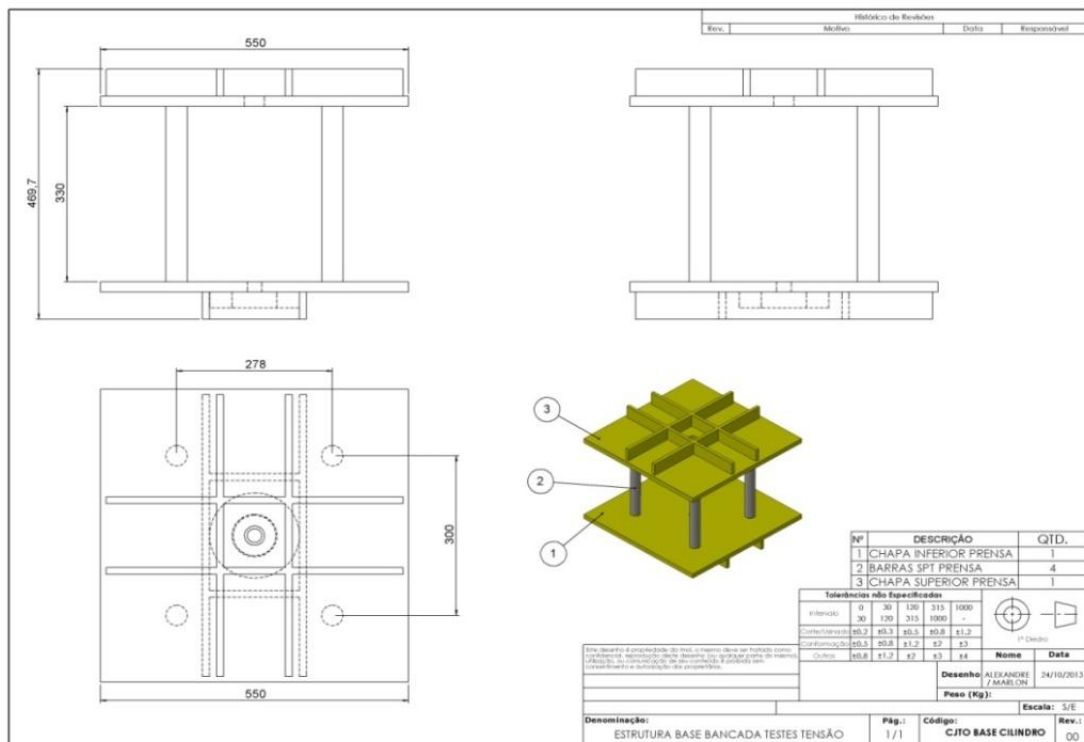


Figura 15 - Conjunto chapa superior.

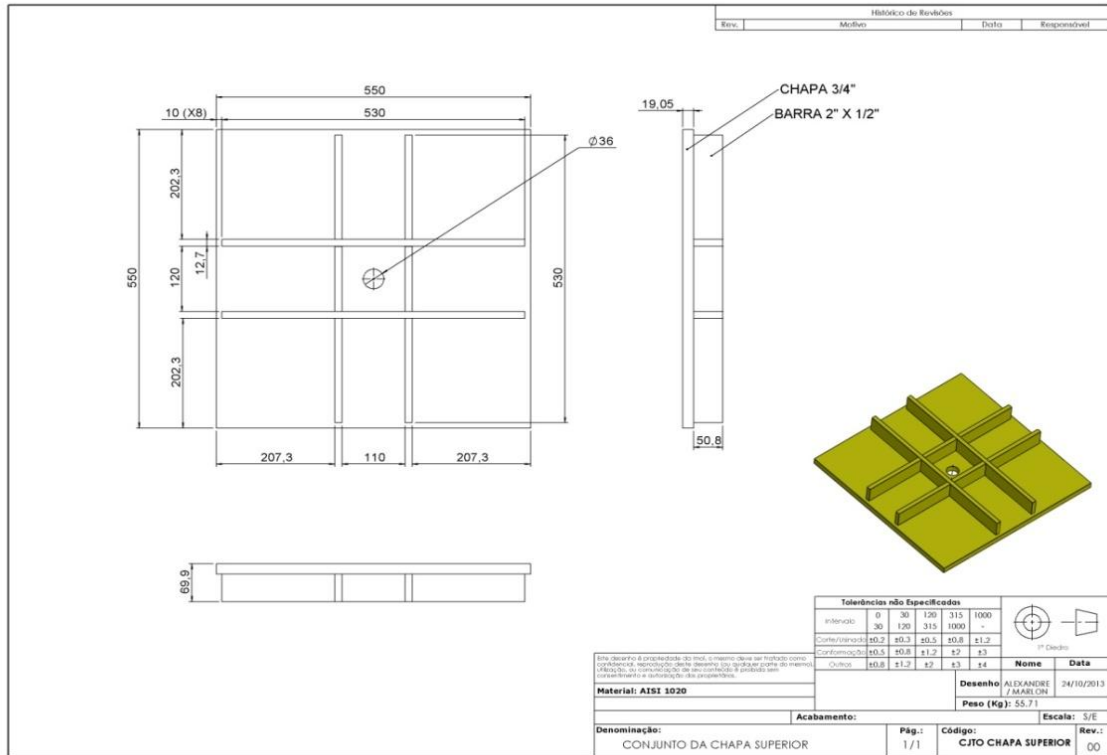
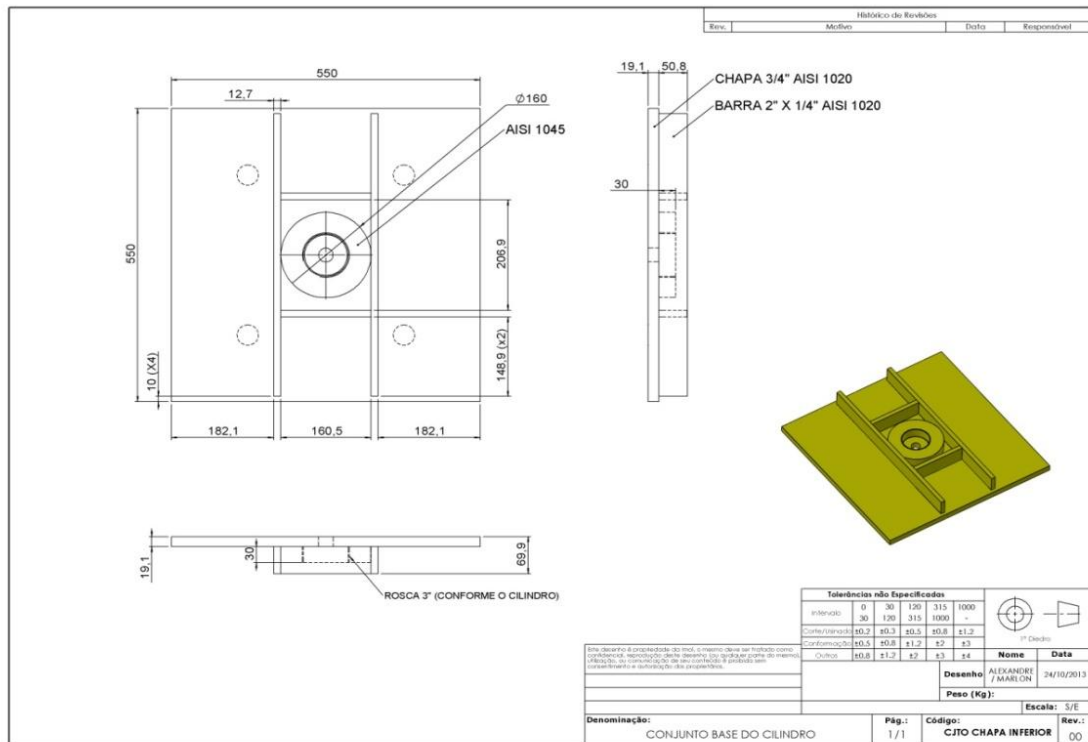


Figura 16 - Conjunto chapa inferior.



4.5 FUNCIONAMENTO DA BANCADA

Quanto ao funcionamento da bancada, o motor gera energia mecânica a bomba que transforma esta em energia hidráulica para o sistema. O fluido de trabalho é deslocado com uma pressão de até 250 bar para o comando hidráulico. O comando hidráulico envia ao cilindro de dupla ação o fluido gerando o deslocamento de sua haste, podendo enviar cerca de 135 bar ao cilindro, ultrapassando esta pressão ele envia o excesso de fluido que faria com que esta pressão ultrapassasse seu limite para o reservatório. Entre o cilindro e o comando hidráulico tem-se um manômetro que gera a pressão que está sendo aplicada no cilindro, que multiplicada pela área da coroa do mesmo obtém-se a força que está sendo aplicada.

A Figura 17 mostra os componentes da bancada de testes de tração:

01 - Cilindro Hidráulico, que é um atuador usado para aplicar uma força através de um percurso linear.

02 - Chapa de fixação inferior, no qual é montado o cilindro hidráulico.

03 - Haste de fixação inferior para corpo de prova, é um adaptador para que se possa montar diferentes corpos de prova a haste do cilindro, esta haste tem uma rosca interna que corresponde a rosca do corpo de prova.

04 - Colunas de sustentação que ficam entre a base superior e a inferior, apóiam a base superior.

05 - Chapa de fixação superior, parte onde é montada a haste que faz a fixação da parte superior do corpo de prova.

06 - Haste de fixação superior para corpo de prova, que é uma parte móvel para permitir usar diferentes adaptadores para diferentes corpos de prova e permitir a centralização do mesmo. Tem uma rosca interna que corresponde a rosca do corpo de prova utilizado.

07 - Mangueira de alimentação do cilindro

08 - Comando hidráulico, utilizado para controlar a direção e o sentido do fluxo do fluido.

09 - Comando manual, uma haste ou manípulo onde o operador comanda o comando hidráulico.

10 - Mangueira de retorno de óleo para o reservatório.

11 - Filtro de óleo que não deixa voltar ao reservatório as impurezas do fluido de trabalho.

12 - Reservatório onde fica armazenado o fluido de trabalho.

13 - Bomba hidráulica que converte energia mecânica em energia hidráulica para o sistema.

14 - Polia da bomba hidráulica, peça mecânica utilizada para transferir força e movimento.

15 - Correia, serve para transmitir a força e movimento de uma polia para outra.

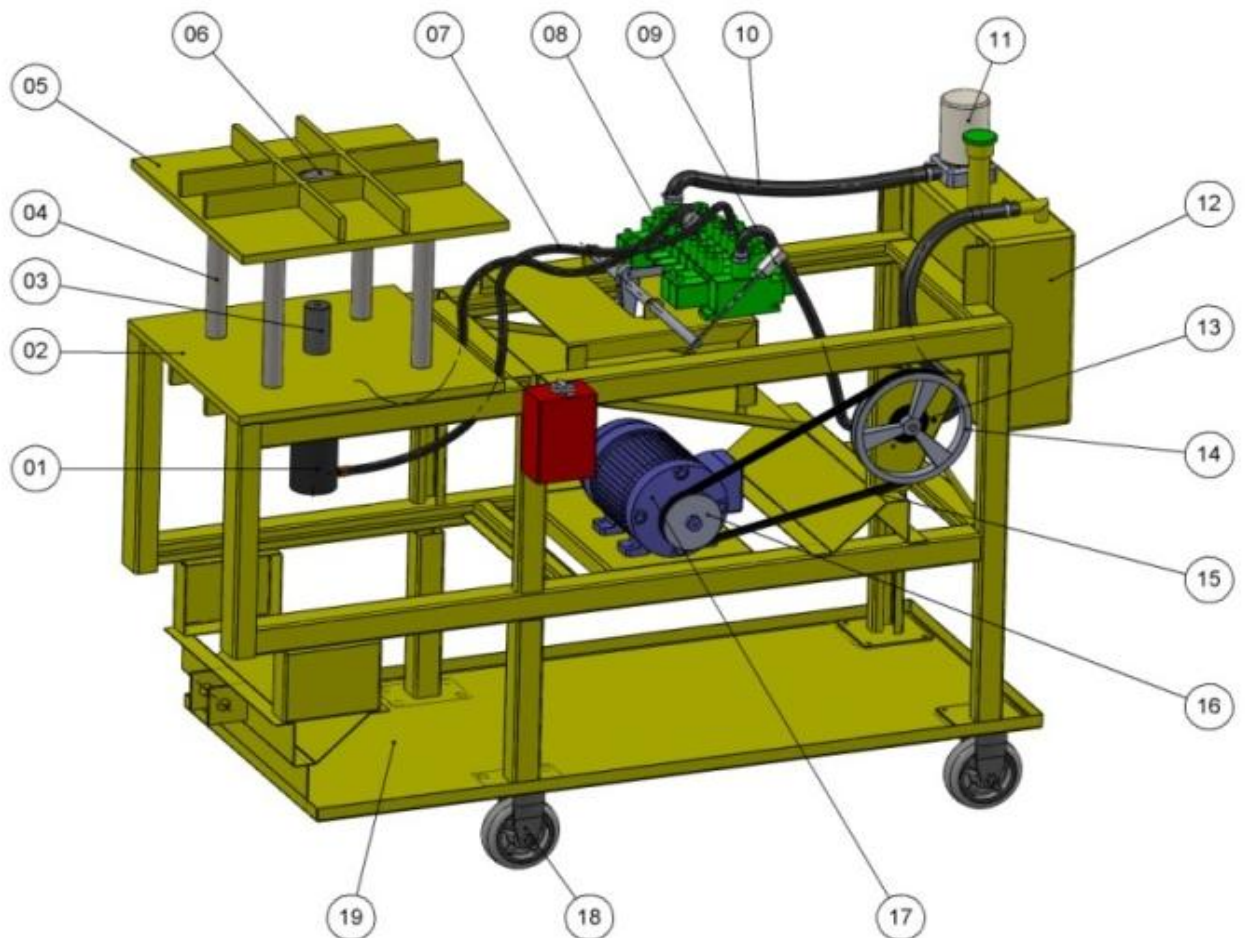
16 - Polia do motor elétrico, peça mecânica utilizada para transferir força e movimento para a polia movida da bomba hidráulica.

17 - Motor elétrico, que transforma energia elétrica em energia mecânica para o sistema.

18 - Rodízios, utilizados para facilitar o deslocamento da bancada.

19 - Estrutura metálica de sustentação.

Figura 17 - Componentes da bancada.



4.6 TESTE DE TRAÇÃO

Após o dimensionamento foi realizada a montagem final do equipamento. Com a bancada montada e testada iniciou-se a fase de testes da bancada e seus componentes. Tendo êxito nos testes de funcionais da bancada, deu-se sequência aos os testes para ver se a bancada consegue romper o corpo de prova especificado. Rosqueia-se o corpo de prova no adaptador do cilindro e após rosqueia-se a parte superior do corpo de prova na haste de fixação superior. Liga-se a bancada e com um movimento suave move-se o comando manual até romper o corpo de prova.

Os resultados obtidos atenderam as necessidades do projeto, pois atingiu-se a meta estabelecida inicialmente, sendo que o dispositivo alcançou a capacidade de romper corpos de prova de aço SAE 1020 trefilados de diâmetro 6,35 mm conforme pode-se ver na figura 18, utilizando apenas parte de sua capacidade total, cerca de 50 bar, quando pode-se com facilidade ultrapassar os 100 bar.

Figura 18 - Corpo de prova aço SAE 1020 Ø 6,35 mm rompido.



5 CONCLUSÕES

O trabalho abordado teve como propósito fundamental o desenvolvimento de uma bancada para testes de tração visando ter mais uma ferramenta para o estudo de materiais na instituição.

Através da captação de informações sobre os vários sistemas presentes no projeto e análises de sua estrutura e componentes, determinou-se a capacidade do sistema hidráulico que é de 250 bar, que com o gerando até 10000 kgf. Definiu-se as condições ideais para testes, através das formas de fixação do corpo de prova e sua centralização. Após definidas as cargas do teste e as cargas que afetam a área de testes durante a realização destes, realizou-se o dimensionamento dos itens necessários através de cálculos, definindo as dimensões do cilindro, verificando-se que as vigas de sustentação estão de acordo com as especificações do projeto e verificando como devem ser as chapas de sustentação inferior e superior através de software.

Após a construção da bancada, realizados inicialmente testes funcionais e após o teste de tração, o equipamento atendeu as necessidades do projeto, rompendo com facilidade o corpo de prova, e inclusive superando o que fora proposto inicialmente. Sendo assim o equipamento poderá realizar testes com materiais de maior tensão, pois utilizou-se apenas uma fração de sua capacidade para o teste do material que fora especificado.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a implementação tecnológica da bancada de testes, ou seja, implementar dispositivos eletrônicos e softwares para a automação da análise dos dados obtidos durante o processo de teste. Também sugere-se que seja realizada a melhoria do sistema de comando hidráulico da bancada visto que o mesmo limita a pressão que é fornecida ao sistema abaixo da pressão que a bomba pode fornecer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6152: **Materiais metálicos – ensaio de tração à temperatura ambiente**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb04/admin/Proj%20Rev%20NBR%206152.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS .NBR 7500: **Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.terraconsult.com.br/NBR%207500.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2013.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russel, **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1996.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Resistência dos materiais - para entender e gostar**. São Paulo: Edgar Blucher, 2008.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. 2. ed. Florianópolis/SC: UFSC, 2003.

PALMIERI, A. C. **Manual de hidráulica básica**. 10. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1997.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. Fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.