



**Leonardo Reichert Decker**

**PROJETO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DE ENSAIO DE TRAÇÃO,  
COMPRESSÃO E FLEXÃO PARA USO COM ARDUINO**

Horizontalina - RS

2021

**Leonardo Reichert Decker**

**PROJETO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DE ENSAIO DE TRAÇÃO,  
COMPRESSÃO E FLEXÃO PARA USO COM ARDUINO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Luis Carlos Wachholz

Horizontina - RS

2021

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Projeto e análise de uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão  
para uso com Arduino”**

**Elaborada por:  
Leonardo Reichert Decker**

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

Aprovado em: 01/12/2021  
Pela Comissão Examinadora

---

Prof. Me. Luis Carlos Wachholz  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Prof. Me. Francine Centenaro Gomes  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Prof. Dr. Rafael Dalcin  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS  
2021**

Dedico este trabalho a toda minha família, especialmente meu pai Lauri, minha mãe Mara, e também minha namorada Ediane, que em todas as fases de meu estudo, me deram o apoio necessário para encarar os desafios que enfrentei durante o curso.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a todos os funcionários da instituição, em especial aos professores que passaram diretamente por meu aprendizado. Além de agradecer a todos os meus amigos e colegas, que me auxiliaram nos momentos de estudos e descontração durante o período

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

## RESUMO

O projeto da bancada de ensaio de tração, compressão e flexão foi desenvolvido com finalidade institucional para analisar a possibilidade de complementar os instrumentos de estudo dos esforços mecânicos dos laboratórios da FAHOR. Nesse sentido, o objetivo da projeção de uma bancada de esforços para corpos de prova foi proporcionar uma ferramenta alternativa de estudo para análise de esforços para os alunos. Associado a objetivos específicos de analisar diversos corpos de provas com diferentes dimensões e formatos, testar áreas possíveis, além de contar com tabelas de materiais, pinças adequadas ao tipo de ensaio, ergonomia e segurança aos usuários. Com base na metodologia de projetos de máquinas inteligentes, desenvolvendo requisitos do cliente e do projeto, diagramas de Mudger e QFD, escolheu-se uma concepção para a bancada de ensaios, na qual foi dimensionada e modelada em software de CAD. A partir desse estudo os resultados foram apresentados através do dimensionamento hidráulico da bancada, do dimensionamento dos corpos de prova, da análise estrutural, dos desenhos detalhados e da tabela comparativa de materiais para teste, com isso a fabricação da bancada em projeto futuros foi possibilitada. Conclui-se que a partir do projeto hidráulica e estrutural é possível desenvolver um protótipo em trabalhos futuros, além de abrir a possibilidade de realizar o desenvolvimento de um sistema em arduino, onde os resultados dos testes possam ser computados e analisados futuramente.

**Palavras-chave:** Bancada de Ensaio. Ensaio mecânico. Análise estrutural.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Ensaio de flexão.....                    | 19 |
| Figura 2 – Demonstração flexão .....                | 19 |
| Figura 3 – Gráfico tensão-deformação.....           | 20 |
| Figura 4 – Corpo de prova.....                      | 21 |
| Figura 5 – Arduino Uno .....                        | 23 |
| Figura 6 – Fluidos hidráulicos.....                 | 25 |
| Figura 7 – Tanque .....                             | 25 |
| Figura 8 – Bomba hidráulica.....                    | 27 |
| Figura 9 – Catálogo bomba dupla .....               | 29 |
| Figura 10 – Válvula de alívio .....                 | 26 |
| Figura 11 – Numero de posição .....                 | 30 |
| Figura 12 – Numero de vias .....                    | 30 |
| Figura 13 – Tipos de passagem.....                  | 31 |
| Figura 14 – Vias da válvula de posição.....         | 31 |
| Figura 15 – Acionamento .....                       | 32 |
| Figura 16 – Acionamento muscular.....               | 32 |
| Figura 17 – Acionamento mecânico .....              | 33 |
| Figura 18 – Acionamento elétrico.....               | 33 |
| Figura 19 – Cilindro hidráulico de dupla ação ..... | 34 |
| Figura 20 – Manômetro .....                         | 37 |
| Figura 21 – Interface SOLIDWORKS 2016 .....         | 38 |
| Figura 22 – Máquina de ensaio .....                 | 40 |
| Figura 23 – Diagrama da metodologia .....           | 41 |
| Figura 24 – Mudge .....                             | 46 |
| Figura 25 – QFD.....                                | 47 |
| Figura 26 – Diagrama função global .....            | 48 |
| Figura 27 – Prensa hidráulica FAHOR .....           | 49 |
| Figura 28 – Esquema hidráulico.....                 | 50 |
| Figura 29 – Componentes da bancada .....            | 51 |
| Figura 30 – Bancada tração .....                    | 52 |
| Figura 31 – Bancada compressão.....                 | 53 |
| Figura 32 – Bancada flexão.....                     | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 33 – Propriedade de massa .....        | 57 |
| Figura 34 – Fixação.....                      | 58 |
| Figura 35 – Força para baixo .....            | 58 |
| Figura 36 – Força para cima .....             | 59 |
| Figura 37 – Corpo de prova.....               | 60 |
| Figura 38 – Áreas possíveis para testes ..... | 61 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

FAHOR – Faculdade Horizontina

LaMEM – Laboratório de metalografia e ensaios mecânicos

LabSOL – Laboratório de Soldagem

LaSH – Laboratório de Sistemas Hidráulicos

CAD – *Computer Aided Design*

CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>12</b> |
| 1.1      | TEMA   | 13        |
| 1.2      | DELIMITAÇÃO DO TEMA  | 13        |
| 1.3      | PROBLEMA DE PESQUISA   | 13        |
| 1.4      | HIPÓTESES  | 14        |
| 1.5      | JUSTIFICATIVA  | 14        |
| 1.6      | OBJETIVOS  | 15        |
| 1.6.1    | <b>Objetivo geral</b>  | <b>15</b> |
| 1.6.2    | <b>Objetivos específicos</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b>                                   | <b>16</b> |
| 2.1      | FACULDADE HORIZONTINA (FAHOR)                                  | 16        |
| 2.1.1    | <b>Laboratório de Metalografia e Ensaios Mecânicos</b>         | <b>16</b> |
| 2.2      | ESFORÇOS MECÂNICOS   | 17        |
| 2.2.1    | <b>Tração</b>  | <b>17</b> |
| 2.2.2    | <b>Compressão</b>  | <b>18</b> |
| 2.2.3    | <b>Flexão</b>  | <b>18</b> |
| 2.2.4    | <b>Diagrama tensão-deformação</b>                              | <b>20</b> |
| 2.2.5    | <b>Corpos de prova</b>   | <b>20</b> |
| 2.3      | ARDUINO  | 22        |
| 2.4      | SISTEMA HIDRÁULICO   | 23        |
| 2.4.1    | <b>Fluidos hidráulicos</b>                                     | <b>24</b> |
| 2.4.2    | <b>Tanque</b>  | <b>25</b> |
| 2.4.3    | <b>Bomba hidráulica</b>  | <b>26</b> |
| 2.4.4    | <b>Válvula de alívio</b>                                       | <b>26</b> |
| 2.4.5    | <b>Válvula de controle direcional</b>                          | <b>29</b> |
| 2.4.6    | <b>Cilindro hidráulico de dupla ação</b>                       | <b>33</b> |
| 2.4.7    | <b>Manômetro</b>   | <b>37</b> |
| 2.5      | SOFTWARE DE CAD  | 37        |
| 2.5.1    | <b>Simulação</b>   | <b>38</b> |
| 2.6      | NORMAS REGULAMENTADORAS  | 39        |
| 2.6.1    | <b>NR12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos</b> | <b>39</b> |
| 2.6.2    | <b>NR17 – Ergonomia</b>  | <b>39</b> |
| 2.7      | MAQUINAS DE ENSAIO   | 39        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>   | <b>41</b> |
| 3.1      | MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS                                  | 42        |
| 3.1.1    | <b>Análise das necessidades</b>                                | <b>42</b> |
| 3.1.2    | <b>Projeto conceitual</b>                                      | <b>43</b> |
| 3.1.3    | <b>Projeto preliminar</b>                                      | <b>43</b> |
| 3.1.4    | <b>Projeto detalhado</b>                                       | <b>44</b> |
| 3.2      | MATERIAIS E EQUIPAMENTOS                                       | 44        |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>                   | <b>45</b> |
| 4.1      | ANALISE DAS NECESSIDADES                                       | 45        |
| 4.1.1    | <b>Requisitos de projeto</b>                                   | <b>45</b> |
| 4.1.2    | <b>QFD – Casa da Qualidade</b>                                 | <b>46</b> |
| 4.2      | PROJETO CONCEITUAL   | 48        |
| 4.3      | PROJETO PRELIMINAR   | 50        |
| 4.3.1    | <b>Esquema hidráulico</b>                                      | <b>50</b> |
| 4.3.2    | <b>Desenhos do SolidWorks</b>                                  | <b>51</b> |

|  |    |
|--|----|
| 4.4 PROJETO DETALHADO.....   | 55 |
| 4.4.1 Dimensionamento hidráulico .....                                   | 55 |
| 4.4.2 Análise estrutural .....   | 57 |
| 4.4.3 Dimensionamento dos corpos de prova .....                          | 59 |
| 4.4.4 Materiais e áreas possíveis para testes .....                      | 60 |
| CONCLUSÃO .....  | 62 |
| REFERÊNCIAS.....   | 63 |
| APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DA ESTRUTURA DA BANCADA DE ENSAIOS..... | 65 |
| APÊNDICE B – ANALISES ESTRUTURAIS DA BANCADA.....                        | 80 |
| ANEXO A – CATÁLOGO CILINDRO HIDRÁULICO .....                             | 86 |
| ANEXO B – CATÁLOGO PARAFUSOS PARA A BANCADA .....                        | 87 |
| ANEXO C – PERFIL U ESTRUTURAL.....                                       | 88 |
| ANEXO D – MÉTODOS DE FIXAÇÃO PARA TESTES .....                           | 89 |
| ANEXO E – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS .....                      | 90 |

## 1 INTRODUÇÃO

A história da humanidade está repleta de revoluções, as quais causaram mudanças no comportamento e na organização social. Algumas dessas revoluções são encontradas nas construções antigas, exemplificadas pelas pirâmides, diques, estradas e ferramentas de trabalho, que serviram para reajustar as formas de vida daquele povo, bem como para facilitar as atividades cotidianas.

Nesse contexto, é possível analisar a necessidade de compreender, desde os primórdios, as características dos materiais e as suas funcionalidades do cotidiano. Assim, observou-se que com esse conhecimento é possível formular regras, normas e procedimentos para determinar quais dimensões podem ser utilizadas com segurança na prática, como em elementos de estruturas e de equipamentos.

A partir da compreensão dos materiais, em específico sobre a temática da resistência dos materiais- área que está voltada para o estudo dos esforços mecânicos- é possível determinar o tamanho das peças ou elementos mecânicos para que recebam forças geradas por estruturas gerais ou específicas e depois disso sejam analisados os efeitos causados nesses materiais. Cada tipo de trabalho realizado sobre a peça e/ou elementos mecânicos possui métodos específicos de análise, pesquisa e cálculo.

Somado a ideia da resistência dos materiais, a evolução das ferramentas utilizadas na Engenharia Mecânica, em relação ao estudo dos esforços durante a graduação, permitiu o uso do hardware, o qual contribuiu para o aprimoramento de sistemas de programação. A partir dessa ferramenta surgiu a problemática do real benefício na aprendizagem durante a formação acadêmica com a construção de uma bancada didática para testes de tração, compressão e flexão para uso dos alunos e professores da Faculdade Horizontina (FAHOR).

Essa bancada terá a finalidade de facilitar e ampliar os materiais de estudos ofertados aos alunos durante a graduação, proporcionando ampliação dos aprendizados teórico-práticos no ramo da engenharia. O projeto sobre a projeção e a construção da bancada foi realizado visando a possível confirmação das hipóteses de realizar a bancada de forma multiuso, podendo analisar mais de um esforço ao mesmo tempo e com a possibilidade de computar e armazenar os resultados obtidos. Dessa forma, foi possível a resolução da problemática por ofertar benefício ao aprendizado acadêmico.

## 1.1 TEMA

Projetar uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão com finalidade institucional.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este projeto se delimita na projeção de uma bancada de testes de esforço, principalmente de tração, compressão e flexão, que poderá ser implantada nos laboratórios da FAHOR para atender as necessidades dos cursos voltados para a Engenharia. O foco é voltado ao dimensionamento hidráulico do sistema e dimensionamento estrutural.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A análise de esforços está muito presente nos conteúdos curriculares relacionados a Engenharia Mecânica, entre eles podem ser citados a tração, a compressão e a flexão, todos utilizados na Estática para Engenharia e na Resistência dos Materiais, por exemplo.

Esses estudos de esforços ficam mais didáticos com o auxílio de sensores, pois há a possibilidade de computar os dados extraídos das bancadas, os quais podem ser analisados em outras disciplinas no decorrer da graduação. Nesse sentido, para que esses esforços possam ser estudados e analisados além da sala de aula convencional é necessário que os laboratórios tenham uma boa oferta de materiais para aulas práticas, isso inclui a aquisição ou desenvolvimento de bancadas de testes.

A FAHOR, disponibiliza diversos laboratórios aos seus alunos, entre eles pode-se citar Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos (LaMEM), Laboratório de Soldagem (LabSOL), Laboratório de Sistemas Hidráulicos (LaSH), os quais já possuem algumas bancadas de ensaio, entretanto, em nenhuma é possível a realização de testes de tração, compressão e flexão em corpos de prova.

Com base no exposto acima, o problema de pesquisa é estabelecido pela seguinte pergunta: construir uma bancada didática para testes de tração, compressão e flexão seria a melhor opção para facilitar e agregar conhecimento aos alunos da FAHOR em relação às análises de esforços?

## 1.4 HIPÓTESES

Segundo Gil (2002), Hipótese é a proposição testável que pode vir a ser solução do problema.

Com base em análises e pesquisas realizadas sobre o problema relatado, as seguintes hipóteses vem a surgir:

- Hipótese 1: Adquirir uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão, vendida no mercado nacional;
- Hipótese 2: Projeto e desenvolvimento de uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão, realizada por um aluno da instituição;
- Hipótese 3: Realizar apenas aulas teóricas, sem a ida em laboratórios nas disciplinas que estudam esforços.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Pesquisas e estudos, desenvolvidos pela Faculdade da Polícia Militar (2018), sobre o aproveitamento dos conteúdos curriculares mostram que proporcionar aos alunos de uma instituição a possibilidade de aplicar o conteúdo apresentado em sala de aula em laboratórios práticos agrega conhecimento aos estudantes, por melhorar a fixação do aprendizado, melhorar o aproveitamento acadêmico e ocorrer a valorização profissional.

Pensando nisso, este projeto de projeção e construção de uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão será aplicado nos laboratórios práticos de ensino superior do setor das Engenharias no campus da FAHOR, localizada na cidade de Horizontina no Rio Grande do Sul, visto que é fundamental para a realização de testes, para a ampliação do conhecimento dos alunos e apresenta melhor custo-benefício.

Sob primeira análise, a partir dessa bancada os professores e alunos da instituição terão a oportunidade de realizar testes de esforço de compressão, tração e de flexão, os quais são muito comuns em estruturas e em máquinas agrícolas, áreas que oportunizam o trabalho de um engenheiro. Ademais, a bancada poderá contar com um sistema de arduino, o que proporcionará maior facilidade na interpretação de resultados gerados graficamente, o que irá gerar conhecimento.

Sob outra análise, além da aplicabilidade prática, essa bancada de ensaios deve contar com fatores de segurança, que incluem a proteção nas laterais com

acrílico, para que não ocorra arremesso de estilhaços da bancada nos operadores, e a oferta de óculos protetores e luvas. Dessa forma, haverá garantia de segurança e da integridade dos operadores, sendo possível o manuseio tanto do professor, quanto dos alunos.

Outro fator importante, com o auxílio de pesquisas de mercado, tem-se a resolução de que o desenvolvimento de uma bancada de testes apresenta menor custo, comparada a uma já existente no mercado, e ainda mantém a mesma funcionalidade.

Diante do exposto, fica claro que é de extrema importância a elaboração dessa bancada, pois além de colocar em prática conteúdos teóricos e estimular a busca pelo conhecimento, contribui para uma formação acadêmica voltada para o mercado de trabalho com melhor custo benefício.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral projetar uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão para corpos de prova em escala reduzida, para que os alunos da FAHOR possam utilizá-la durante a graduação. Essa bancada beneficiará o ensino teórico-prático das aulas das Engenharias.

### 1.6.2 Objetivos específicos

Com o auxílio de um software de *Computer Aided Design* (CAD), projetar a bancada para que ela seja capaz de analisar diferentes corpos de prova, como dimensões e formatos.

- Desenvolver uma tabela com materiais e áreas possíveis de serem testados em cada um dos esforços;
- Segurança nos procedimentos
- Projetar as pinças de acordo com cada tipo de ensaio;
- Proporcionar ergonomia adequada na bancada para melhorar as condições gerais de trabalho.
- Dimensionar o sistema hidráulico e estrutural.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 FACULDADE HORIZONTINA (FAHOR)**

O campus da FAHOR na cidade de Horizontina no Noroeste gaúcho foi criado em 2001 com a oferta do curso de Engenharia Mecânica. A partir deste ano, foram desenvolvidas estratégias para o desenvolvimento de uma graduação de qualidade voltada principalmente para a formação que capacitasse os estudantes a dominarem várias etapas da cadeia produtiva industrial, como a projeção e a construção de produtos, de sistemas e de estruturas, entre outras; bem como para a graduação voltada para o setor agrícola, que é um dos principais pilares da economia da região. FAHOR (2021)

Atualmente, a FAHOR possui cerca de 600 alunos distribuídos em diferentes cursos de graduação, os quais estão citados a seguir: Bacharelado em Engenharia Mecânica, Bacharelado em Engenharia de Produção, Bacharelado em Ciências Econômicas, Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, Bacharelado em Engenharia Química, Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Engenharia Ambiental, e Tecnólogo em Gestão Financeira.

#### **2.1.1 Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos**

No contexto da graduação da Engenharia Mecânica, a didática pedagógica envolve aulas teóricas expositivas e interativas, ao mesmo tempo que permite a busca por conhecimento e experiências em campo prático, que são ofertados nos laboratórios.

Com informações retiradas do site da FAHOR (2021) o Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos, por exemplo, é situado no prédio central da FAHOR e engloba os estudos e serviços de Ensaio Metalógrafos, Ensaio Mecânicos, Tratamentos Térmicos, Cursos de Metalografia, Ensaio Mecânicos e Tratamentos Térmicos. Este laboratório possui uma gama de equipamentos que possibilitam estas atividades, entre os principais podem ser citados o Durômetro de bancada Pantec, a Prensa embutidora Arotec Pre-305, o Microscópio metalográfico binocular 400X, o Termo Reator TR300 Merck, segundo o portal virtual da FAHOR.

Nesse sentido, o espaço e os equipamentos destinados para a obtenção de conhecimento prático contribui para a fixação de conteúdo, além de permitir ao aluno

a busca por soluções de problemas, através de um olhar crítico sobre a realidade expressa nos campos práticos.

## 2.2 ESFORÇOS MECÂNICOS

Para Beer; *et. al.* (2021) os esforços mecânicos são o foco de estudo da resistência dos materiais, visto que compreendem um conjunto de cargas externas e internas sofridas por um corpo, usadas com a finalidade de analisar, em laboratório, os efeitos que os esforços mecânicos gerados por uma estrutura geral ou específica fazem sobre o corpo. Além disso, o objetivo de estudar a mecânica dos materiais é possibilitar que os engenheiros consigam analisar e projetar estruturas e máquinas, que podem vir a sofrer ou estão sofrendo alguma carga de tensão ou deformação.

Somado a essa ideia de esforço na mecânica dos materiais, para Mendes e Silveira (2018) os Ensaios mecânicos realizados em laboratório têm a funcionalidade de entender como o material se comporta em seu trabalho, através das medidas de diversos fatores, isso é feito para identificar as características dos materiais a serem utilizados. Estes ensaios buscam reproduzir todos os esforços sofridos por esses materiais nas condições de serviço, visto que sua realização é uma prática comum de verificação em compras de grande volume.

Dessa forma, o estudo da mecânica e a realização de Ensaios, permite a análise completa do material e do produto que está sendo testado a partir dos esforços.

### 2.2.1 Tração

Cada tipo de esforço tem métodos específicos de análise, pesquisa e cálculo. Sendo assim, no caso do esforço de tração, conforme Mendes e Silveira (2018) o ensaio de tração faz com que o corpo de prova seja submetido a uma força de tração uniaxial, a qual promove o seu alongamento até a ruptura, em uma velocidade constante e em curto espaço de tempo.

Este esforço, baseado em Garcia, Spim e Santos (2017), apresenta algumas vantagens que são: facilidade de aplicação, flexibilidade do método, pois pode ser utilizado desde arames até blocos, amplitude das informações fornecidas, aplicabilidade para praticamente todos os materiais de engenharia (metais, polímeros, cerâmicos, compósitos, madeira, entre outros).

### **2.2.2 Compressão**

Segundo Mendes e Silveira (2018) a compressão é um ensaio mecânico elástico e destrutivo, ou seja, é feito para ser destruído e que tem a propriedade de retornar à forma primitiva depois de curvado ou comprimido.

Este ensaio mecânico é realizado através da aplicação de uma carga de compressão uniaxial, aplicando essa carga em um único eixo ou direção, realizando assim uma redução no comprimento do corpo de prova e aumentando o seu diâmetro.

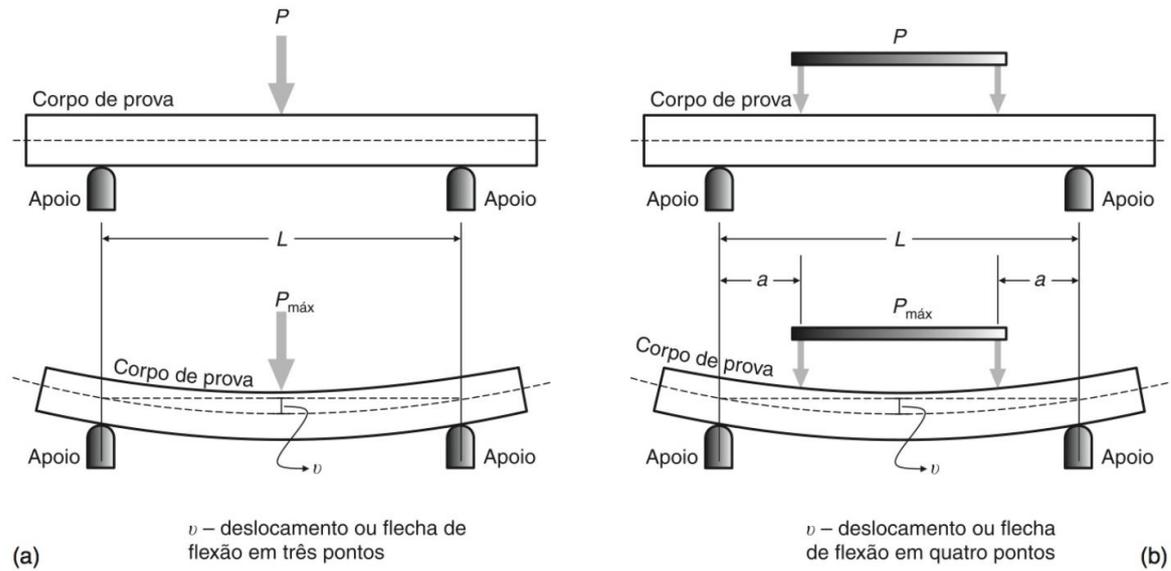
Para que o ensaio de compressão seja realizado da maneira correta, é necessário utilizar as normas técnicas, principalmente a NBR 5739:2007 e a ASTM E9-09, com os materiais adequados, além de realizar o preparo da máquina antes da realização dos testes, quando necessário deve ser aquecida, testada e zerada.

Para Garcia, Spim e Santos (2017) os fatores que influenciam os resultados envolvem a temperatura, a velocidade de deformação, a anisotropia do material, o tamanho de grão, a porcentagem de impurezas e condições ambientais. Esses fatores estão presentes em um ensaio de compressão e são semelhantes com os fatores dos ensaios de tração.

### **2.2.3 Flexão**

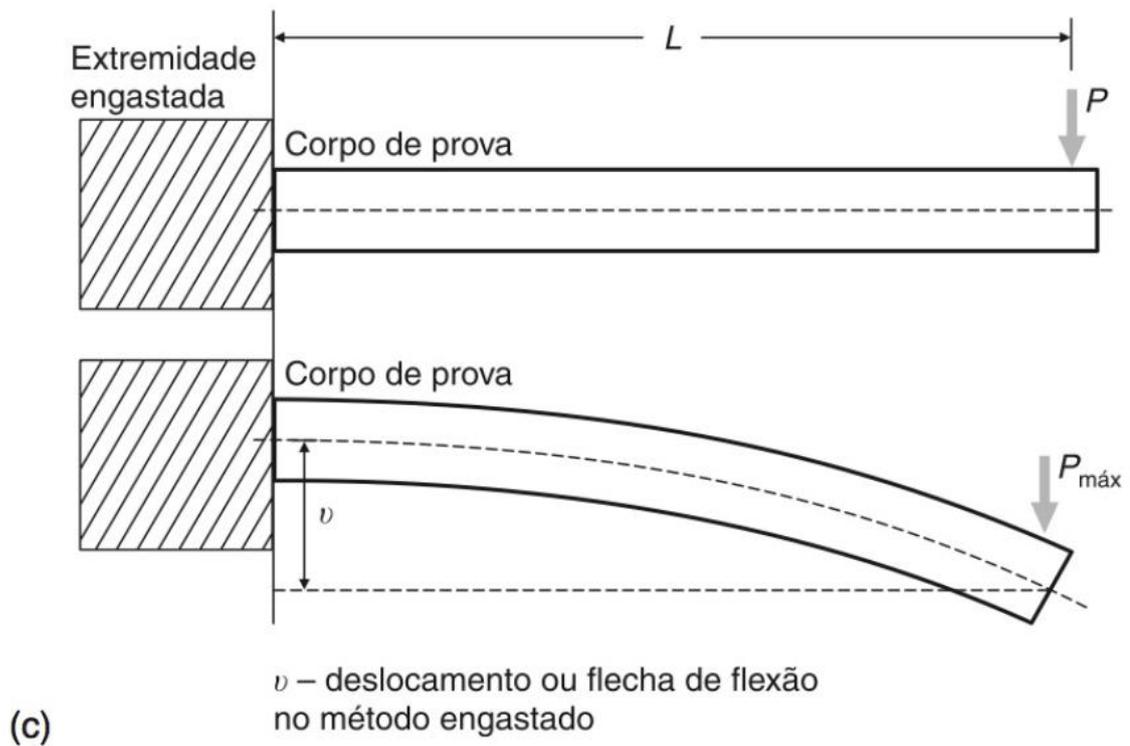
Para Garcia, Spim e Santos (2017), os três principais métodos desse ensaio são: o ensaio em três pontos, em que o corpo de prova é apoiado em duas extremidades e a carga é aplicada no centro do comprimento do corpo de prova, o ensaio em quatro pontos, em que o corpo de prova também é apoiado em duas extremidades mas recebe duas cargas no decorrer do seu comprimento e o chamado método engastado, que consiste em fixar uma extremidade do corpo de prova e aplicar a força na outra extremidade, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Ensaio de flexão



Fonte: Garcia, Spim e Santos, 2017, p. 177

Figura 2 – Demonstração flexão



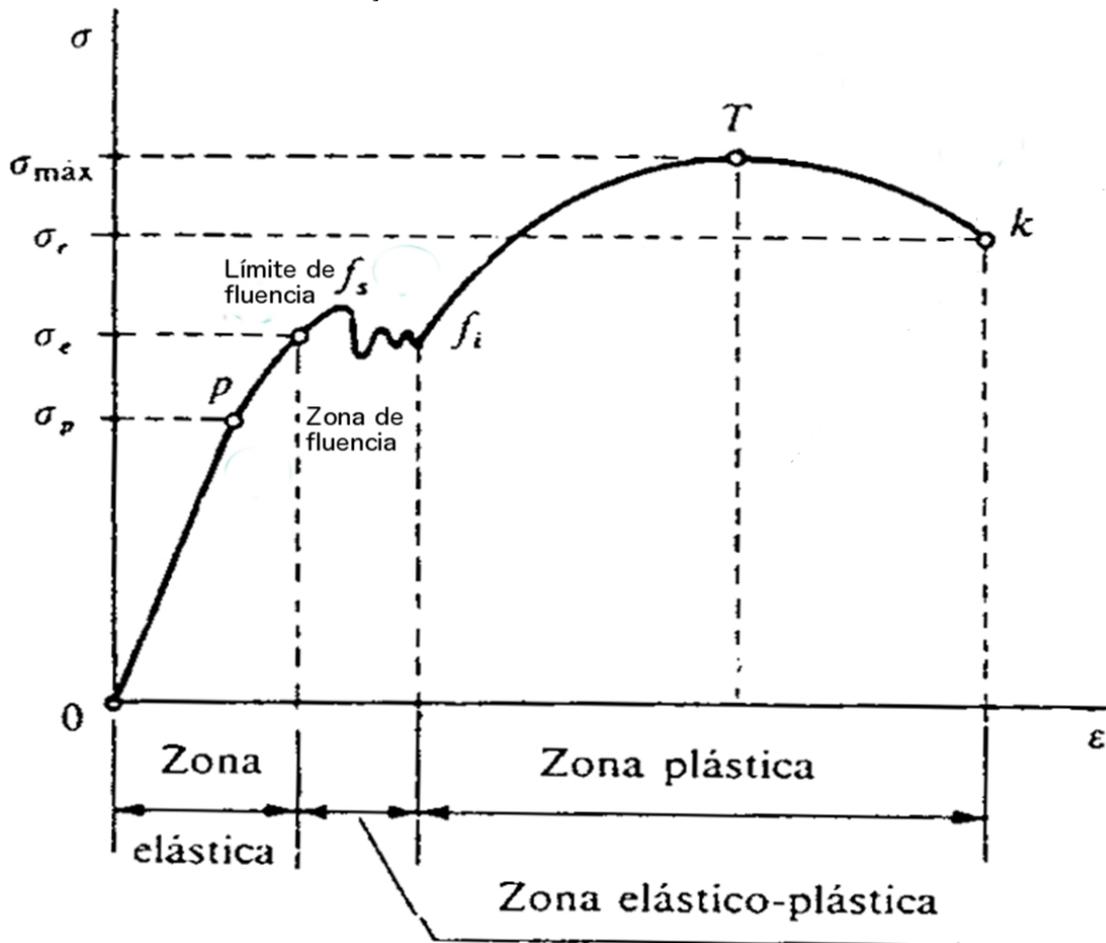
Fonte: Garcia, Spim e Santos, 2017, p. 177

Segundo Mendes e Silveira (2018), o ensaio de flexão na grande maioria das vezes é resultante de carregamentos transversais que curvam o corpo e geram uma distribuição de tensões em seu interior.

### 2.2.4 Diagrama tensão-deformação

Segundo Mendes e Silveira (2018), quando o ensaio de tração é realizado toda a força que nele é aplicado, converte-se em uma tensão. Isso ocasiona a deformação do corpo que pode ser analisada com um gráfico de tensão em função da deformação, também chamado de diagrama tensão-deformação. O gráfico Tensão-Deformação é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Gráfico tensão-deformação



Fonte: Mendes e Silveira, 2018, p. 66

No diagrama tensão-deformação os pontos apresentados são: o limite de escoamento, limite de elasticidade, limite de proporcionalidade, tensão de ruptura real, limite de resistência e por último a tensão de ruptura.

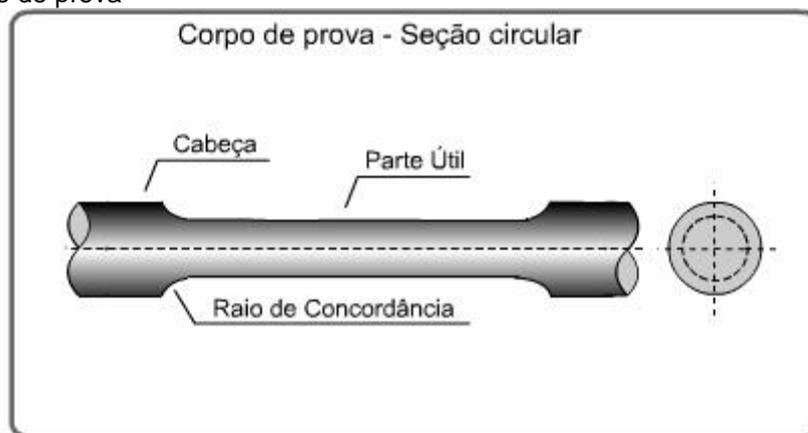
### 2.2.5 Corpos de prova

Segundo o Centro de Informação Metal Mecânica CIMM (2021), os corpos de prova que são utilizados para realizar testes de tração e compressão devem seguir

um padrão, possibilitando que todos os valores retirados estejam significativos. Atualmente no Brasil a norma MB-4 da ABNT é o meio correto de se seguir quando o assunto é ensaio mecânico, pois ela define os formatos e as dimensões a serem seguidas. As normas mais pertinentes para este estudo dos corpos de prova são: Materiais metálicos - Ensaio de tração a temperatura elevada NM-ISO783 1996 e Materiais metálicos - Ensaio de tração à temperatura ambiente NBR ISO 6892 11/2002

Os corpos de prova podem ter mais de um formato, isso depende diretamente do material que se quer analisar. Pode-se citar, se ele for proveniente de uma chapa, placa ou perfil, em geral terá seção transversal retangular, se for proveniente de um corpo de seção circular ou irregular, ou ainda de dimensões muito grandes, ele terá seção circular. Na Figura 4, pode ser observada a imagem de um corpo de prova circular com suas respectivas partes.

Figura 4 – Corpo de prova



Fonte: CIMM, 2021

Ainda para CIMM (2021) As extremidades do corpo de prova, têm como finalidade permitir a fixação do corpo na máquina de ensaio, a parte útil que é a porção em que será observado a deformação após a realização do ensaio, e a parte do raio de concordância que é a relação entre a cabeça e a parte útil, que dará a curvatura. sendo assim, um padrão para montar os corpos de prova.

#### 2.2.5.1 Corpos de prova tração

Segundo a Biopdi (2021) para a execução do ensaio de tração a confecção do corpo de prova é de fundamental importância. O comprimento e formato do corpo de prova, a velocidade de aplicação da carga e as imprecisões dos ensaios afetam

diretamente nos resultados obtidos. As propriedades mecânicas do material são medidas na parte útil do corpo de prova. Em geral, corpos de prova apresentam seção transversal circular quando produzidos por fundição ou torneados a partir de um produto acabado cilíndrico.

#### 2.2.5.2 Corpos de prova compressão

Para Biopdi (2021) os corpos de provas são geralmente cilíndricos e os resultados dependem fortemente do diâmetro e do comprimento, para materiais dúcteis a relação comprimento/diâmetro varia de 3 até 8 no máximo, devido a problemas de flambagem. As principais propriedades medidas são em relação a propriedades referentes à zona elástica, como limite de escoamento de proporcionalidade. Já para materiais frágeis, o comprimento corresponde a duas ou três vezes o diâmetro do corpo de prova.

#### 2.2.5.3 Corpos de prova flexão

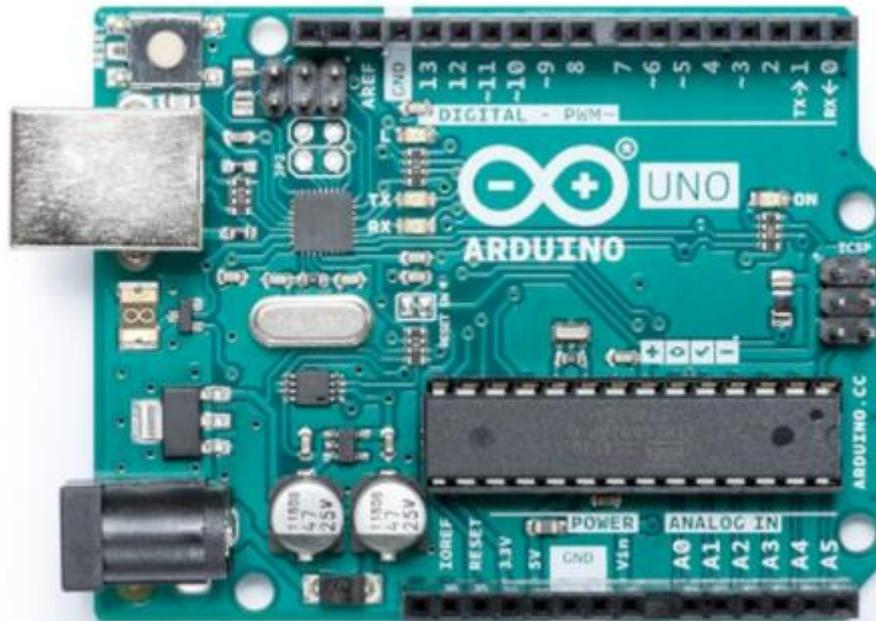
Segundo a Biopdi (2021) os resultados do ensaio dependem fortemente da geometria do perfil transversal do corpo de prova, bem como, da presença de defeitos superficiais. Os corpos de prova são barras com seção transversal, são preferíveis seções circulares para facilitar os cálculos, algumas relações dimensionais são típicas, por exemplo, recomenda-se que a relação largura/espessura não seja superior a 10. Através da escolha do corpo de prova é possível fazer medições do material e comparar quais os melhores perfis desse mesmo material para determinada aplicação.

### 2.3 ARDUINO

Sob a perspectiva de Oliveira e Zanetti (2015), o Arduino é uma plataforma de hardware, constituída principalmente de um microprocessador Atmel AVR, o qual pode ser programado em linguagens C/C++. Grande parte dos Arduinos possuem uma porta USB, o que possibilita a conexão do microprocessador com o computador para a realização de Upload da programação e para o recebimento de dados, além da alimentação da placa para o devido funcionamento. Essa plataforma de Arduino, tem como ideia principal a facilitação da prototipagem de projetos interativos. Na

Figura 5, é apresentada uma placa de Arduino chamada Uno, sendo essa uma das mais vendidas para iniciantes.

Figura 5 – Arduino Uno



**Fonte:** Oliveira e Zanetti, 2015, p. 18

Para Monk (2017) o microprocessador é o principal componente do Arduino, os outros componentes estão envolvidos basicamente com o fornecimento de energia elétrica e com a comunicação entre a placa e o computador. O Arduino utiliza um ou dois quilobytes de memória RAM [NT] para guardar dados processados; poucos quilobytes de memória EPROM [NT] ou de memória flash para armazenar os programas e ainda possui pinos de entrada e saída que tem a função de ligar o microcontrolador aos demais componentes dos circuitos que poderão ser desenvolvidos.

## 2.4 SISTEMA HIDRÁULICO

Para Silveira e dos Santos (2018), a hidráulica é um sistema que utiliza um fluido para transmitir energia, transformando a mesma em um trabalho útil. E para saber como esses fluidos se comportam dentro de um sistema, é necessário estudos sobre os aspectos físicos quando esses gases ou líquidos estão sob uma determinada pressão.

Ainda para Linsingen (2003) o sistema hidráulico é um arranjo de componentes físicos, cada um com a sua função de conversão, controle e limitação de energia. Para que tudo isso esteja em perfeito funcionamento é realizado a transmissão e controle de forças e movimentos.

Linsingen (2003) cita que existem muitas características vantajosas nos sistemas hidráulicos como:

- Baixa relação peso potência fazendo com que possa realizar grandes forças ou torques, com dimensões relativamente reduzidas;
- Rápida inversão entre avanço e retração;
- Permite variação de força e velocidade;
- Precisão para movimentos rápidos e lentos;
- Permite interação com sistemas elétricos, mecânicos e pneumáticos.

#### **2.4.1 Fluidos hidráulicos**

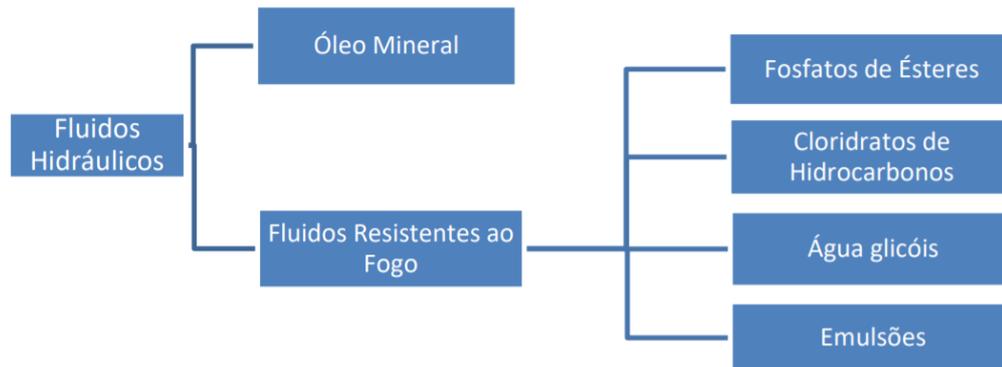
Fialho (2012), define fluido hidráulico como uma substância cujas propriedades permitem o seu escoamento de forma a ocupar todo o volume do recipiente que o contém.

Para Sullivan (1989) a principal função de um fluido hidráulico é transmitir potência e para que isso seja possível o fluido precisa ter uma alta estabilidade química, fazendo com que as suas propriedades não se alterem, mesmo havendo uma variação de temperatura

Existem dois tipos de fluidos hidráulicos que são utilizados em sistemas hidráulicos, são eles, os óleos minerais e fluidos resistentes ao fogo. É de extrema importância a escolha correta do fluido, pois ele está diretamente ligado a segurança e eficiência do sistema, além de haver a necessidade de analisar se é necessário a utilização de algum aditivo junto ao fluido, visto que estes aditivos acrescentam propriedades adicionais (RACINE, 1981).

Na Figura 6 pode ser observado um diagrama relacionado aos fluidos hidráulicos, apresentando a sua cadeia de características.

Figura 6 – Fluidos hidráulicos



**Fonte:** Adaptado de Sullivan, 1989

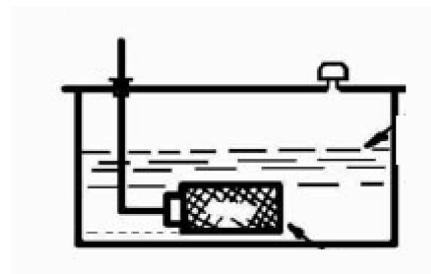
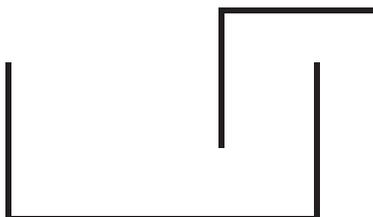
Para Sullivan (1989) Em um sistema hidráulico, o mais comum fluido utilizado são os óleos minerais, devido ao seu baixo custo e a sua capacidade térmica em manter suas propriedades estáveis desde que sua temperatura se limite a 65,5°C. Já quando existe a necessidade de trabalhos em altas temperaturas, geralmente são utilizados os fluidos resistentes a fogo, sendo eles o fosfato de éster, cloridrato de hidrocarbonetos, água glicóis e emulsões, eles possuem excelente qualidade de lubrificação e são oferecidos em larga faixa de viscosidades.

#### 2.4.2 Tanque

A principal função de um tanque em um sistema hidráulico é armazenar o fluido para aquele determinado sistema, além de ser um bom dissipador de calor através de suas paredes.

Os tanques, tem em sua composição, na grande maioria das vezes, linha de sucção, retorno e drenos indicador de nível de óleo, filtro de ar e bocal de enchimento. E a sua representatividade gráfica é apresentada na Figura 7

Figura 7 – Tanque



**Fonte:** Adaptado de Racine, 1981

O funcionamento do tanque ocorre a partir do armazenamento do fluido, que será succionado por uma bomba hidráulica. Após essa etapa os demais componentes do sistema direcionam o fluido para a realização do trabalho para o qual foi projetado. Quando o ciclo é encerrado, este mesmo fluido retorna para um tanque.

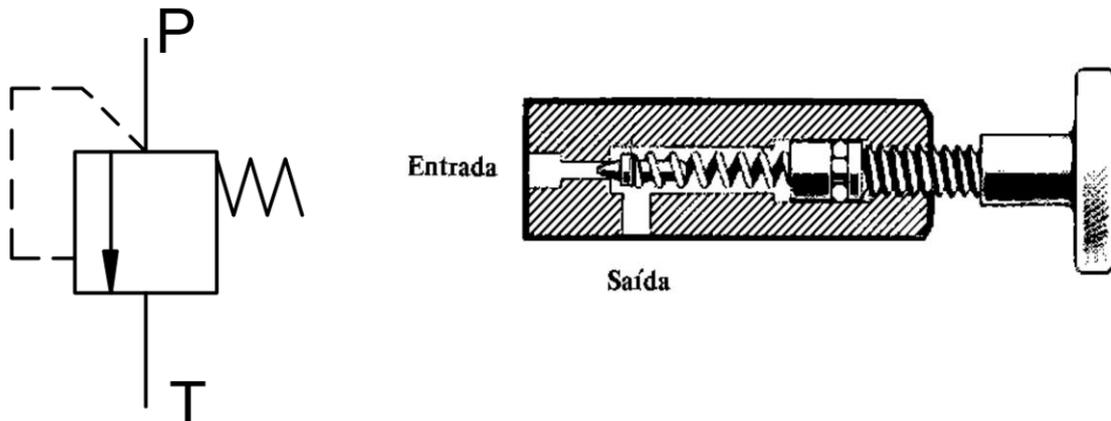
Sullivan (1989), cita que existem fatores a serem analisados para realizar um projeto de tanque hidráulico, como a oferta de uma superfície livre para retirada de gases do fluido do reservatório; a adição de um suspiro para permitir a entrada de ar atmosférico, quando dimensionado; uma superfície de contato adequada entre o fluido e as paredes do reservatório; a presença de um dreno no ponto mais baixo do reservatório; além de possuir um visor de nível para inspeção periódica.

### 2.4.3 Válvula de alívio

Segundo Linsingen (2003), essa válvula de alívio, é um componente no sistema hidráulico, que tem a finalidade de limitar a pressão dentro de um sistema hidráulico em um nível determinado no projeto, ou seja, essa válvula se enquadra dentro dos controladores de pressão. Na grande maioria das vezes, essas válvulas são utilizadas com o intuito de limitar a pressão máxima de um sistema, regular a pressão reduzida em certas partes dos circuitos, controlar operações sequenciais e contrabalancear forças mecânicas externas.

Essa válvula de alívio, tem sua representatividade gráfica com a via de pressão representada pela letra “P”, a via de retorno pela letra “T”. A mesma é apresentada na Figura 10.

Figura 8 – Válvula de alívio



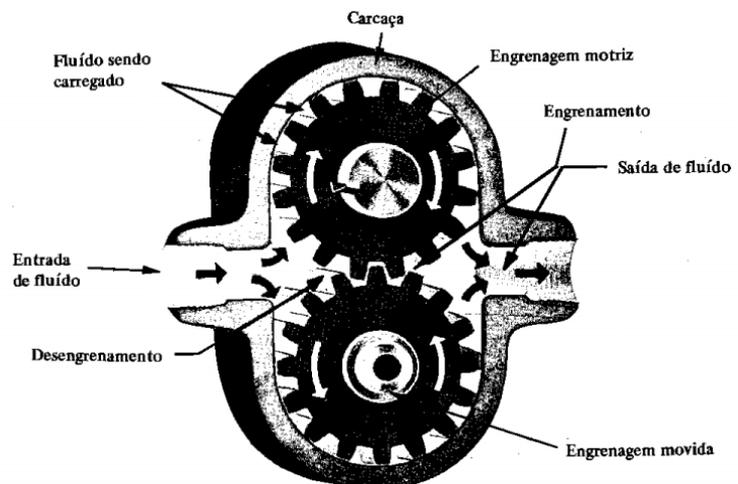
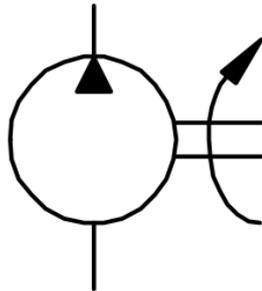
Fonte: Adaptado de RACINE, 1981.

Ainda para Linsingen (2003), as duas principais válvulas de controle de pressão são as válvulas de redução e a válvula de alívio unidade hidráulica. A válvula de redução tem a finalidade de diminuir a pressão excedente, já a válvula de alívio tem uma maior capacidade de fluxo e proporciona segurança ao sistema, caso ocorra qualquer problema no limite de pressão.

#### 2.4.4 Bomba hidráulica

A bomba hidráulica é um dispositivo muito utilizado na indústria. O seu sistema tem o intuito de transformar energia potencial em energia cinética ou energia de pressão. A sua forma representada graficamente pode ser vista na Figura 8, com uma seta mostrando a sua direção.

Figura 9 – Bomba hidráulica



**Fonte:** Adaptado de Racine, 1981

O seu funcionamento está diretamente ligado a algum tipo de fluido, geralmente um óleo, sendo ele o responsável por gerar uma pressão que se transformará em energia, ou seja, a bomba hidráulica não é responsável por criar a pressão no sistema, ela apenas possibilita a criação de um fluxo de líquido. Introduzindo algum tipo de carga no sistema, podendo ser um pistão, ele irá movimentar o líquido e assim gerando a pressão.

Para que o dimensionamento da bomba hidráulica possa ser realizado, Bosch Rexroth (2007), propõe primeiramente a Equação 1, com o intuito de encontrar a Potência do motor.

$$P_{an} = \frac{p * Q}{600 * \eta_{ges}} \quad (1)$$

Onde:

$P_{an}$  = Potencia de acionamento (kW)

$p$  = Pressão Operacional (bar)

$Q$  = Vazão (l/min)

$\eta_{ges}$  = Rendimento total ( 0,8-0,85)

Com o valor de Potência do motor encontrado, o próximo passo é buscar a vazão que o motor elétrico tem condições de enviar, com a bibliografia de Bosch Rexroth (2007), apresenta-se a Equação 2.

$$Q1 = \frac{P_{an} * 600 * \eta_{ges}}{p} \quad (2)$$

Onde:

$Q1$  = Vazão que o motor elétrico tem condições de enviar (l/min)

$P_{an}$  = Potencia de acionamento (kW)

$p$  = Pressão Operacional (bar)

$\eta_{ges}$  = Rendimento total ( 0,8-0,85)

Com o valor de Vazão que o motor elétrico tem condições de enviar, é necessário utilizar a Equação 3 que tem o intuito de descobrir a rotação de saída do motor.

$$n = \frac{Q1 * 1000 * \eta_{vol}}{V} \quad (3)$$

Onde:

$n$  = Rotação de saída do motor

$Q1$  = Vazão que o motor elétrico tem condições de enviar (l/min)

$V$  = Volume Nominal (cm<sup>3</sup>)

$\eta_{vol}$  = Rendimento volumétrico ( 0,9-0,95)

Fazendo a transformação da Equação 3, é possível calcular o volume nominal, chegando na Equação 4.

$$V = \frac{Q1 * 1000}{n * \eta_{vol}} \quad (4)$$

Onde:

V = Volume Nominal (cm<sup>3</sup>)

n = Rotação de saída do motor

Q1 = Vazão que o motor elétrico tem condições de enviar (l/min)

$\eta_{vol}$  = Rendimento volumétrico ( 0,9-0,95)

Com o valor do Volume nominal encontrado, a bomba hidráulica pode ser definida na Figura 9.

Figura 10 – Catálogo bomba dupla

| Parâmetro                   | Unidade              | Opções Volumétricas |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tamanho Nominal             | TN                   | 2                   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 11   | 12   | 13   | 14   | 16   | 19   | 21   | 23   | 25   | 27   | 31   | 33   | 38   |
| Deslocamento Volumétrico    | cm <sup>3</sup> /rot | 2,5                 | 4    | 5    | 6,2  | 7,2  | 8,15 | 9,17 | 11,2 | 12,2 | 13,3 | 14,5 | 16,3 | 19,7 | 21,1 | 23,4 | 25,2 | 27   | 31   | 32,9 | 37,8 |
|                             | in <sup>3</sup> /rot | 0,15                | 0,24 | 0,31 | 0,38 | 0,48 | 0,5  | 0,54 | 0,68 | 0,73 | 0,81 | 0,89 | 0,99 | 1,2  | 1,29 | 1,43 | 1,59 | 1,65 | 1,89 | 2,01 | 2,31 |
| Pressão Máxima Contínua     | bar                  | 250                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 240  | 220  | 200  | 150  | 110  | 90   |      |      |
| Pressão Máxima Intermitente | bar                  | 300                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 260  | 245  | 225  | 180  | 130  | 110  |      |      |
| Pressão de Partida          | bar                  | 325                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 290  | 275  | 250  | 245  | 190  | 170  | 140  |      |
| Rotação Máxima              | rpm                  | 4000                |      |      |      |      |      | 3600 |      |      | 3300 | 3000 |      |      | 2800 | 2400 | 2300 | 2100 | 2000 |      |      |
| Rotação Mínima              | rpm                  | 600                 |      | 500  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Fonte: Hybel, 2021, p. 16

Com o valor de tamanho nominal selecionado, informações como deslocamento volumétrico, pressão máxima contínua, pressão máxima intermitente, pressão de partida, rotação máxima e rotação mínima também já são encontradas.

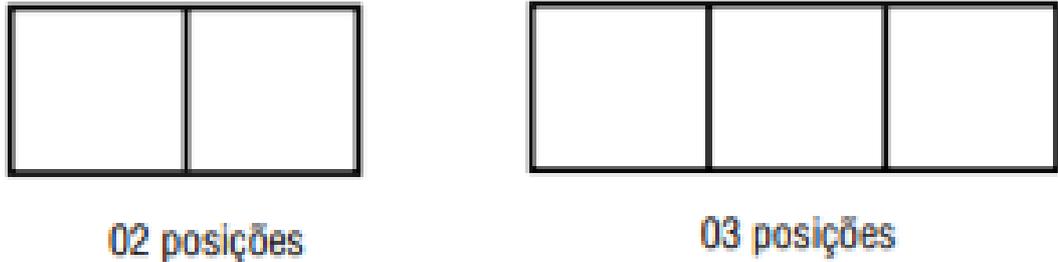
#### 2.4.5 Válvula de controle direcional

Segundo Sullivan (1989) como o nome já diz, a função de uma válvula direcional é a de direcionar o sentido de fluxo visando atender a necessidade do sistema. Essas válvulas tem como característica, o número de vias, número de posições, tipo de acionamento e tipo de retorno

### 2.4.5.1 Número de posição

Para Sullivan (1989), a representação gráfica das válvulas de direção, são dadas por quadrados. O número de quadrados quer dizer o número de posições que uma válvula pode apresentar, como pode ser visto na Figura 11

Figura 11 – Numero de posição



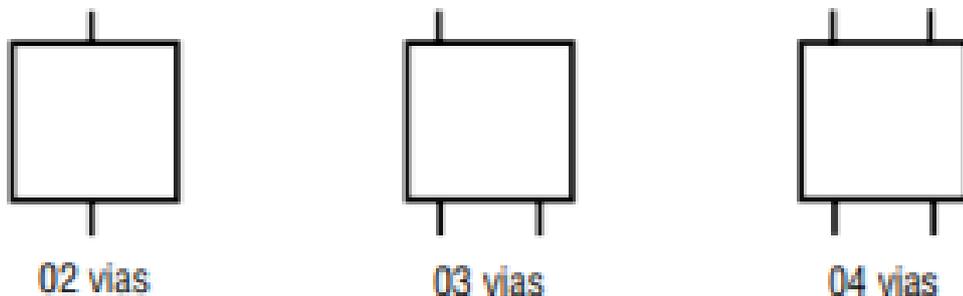
**Fonte:** Adaptado de Sullivan, 1989

Ainda para Sullivan (1989), vale lembrar que o número mínimo de posições que uma válvula possui é de duas, ou seja, no mínimo dois quadrados. O símbolo caracteriza a função e não o tipo construtivo.

### 2.4.5.2 Número de vias

O número de conexões úteis que uma válvula de controle direcional pode possuir, está diretamente ligado ao número de vias de uma válvula como apresentado na Figura 12 (Sullivan, 1989)

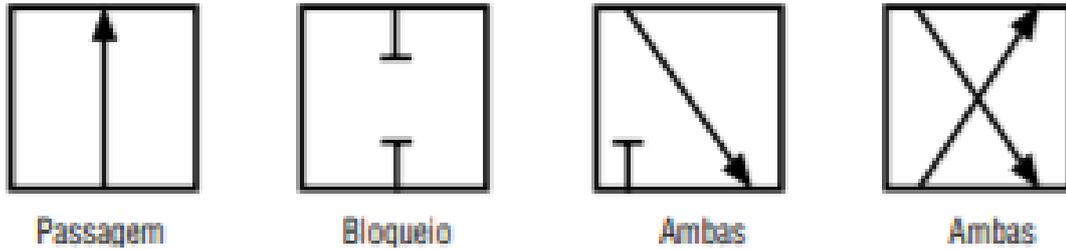
Figura 12 – Numero de vias



**Fonte:** Adaptado de Sullivan, 1989

Segundo Sullivan (1989), dentro dos quadrados graficamente representados, existe, três tipos de vias, sendo elas de bloqueio, de passagem ou a combinação de ambas, sua representação pode ser observada na Figura 13.

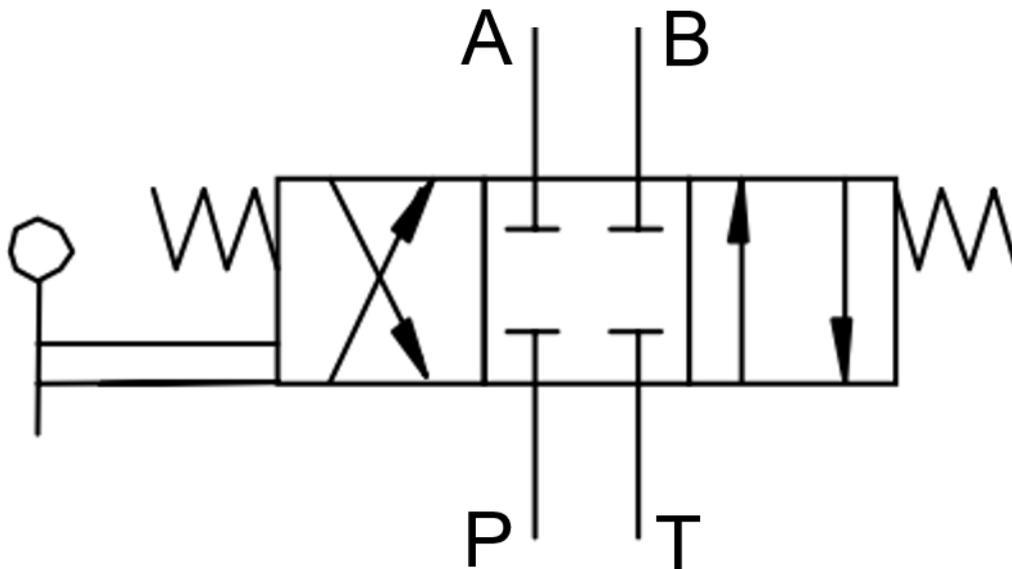
Figura 13 – Tipos de passagem



Fonte: Adaptado de Sullivan, 1989

Quando se fala de identificação das vias, considera-se apenas a identificação apresentada em um quadrado principal. A via de pressão é representada pela letra “P”, a via de retorno pela letra “T” e as vias de utilização pelas letras “A” e “B”. Um exemplo dessa nomenclatura pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Vias da válvula de posição

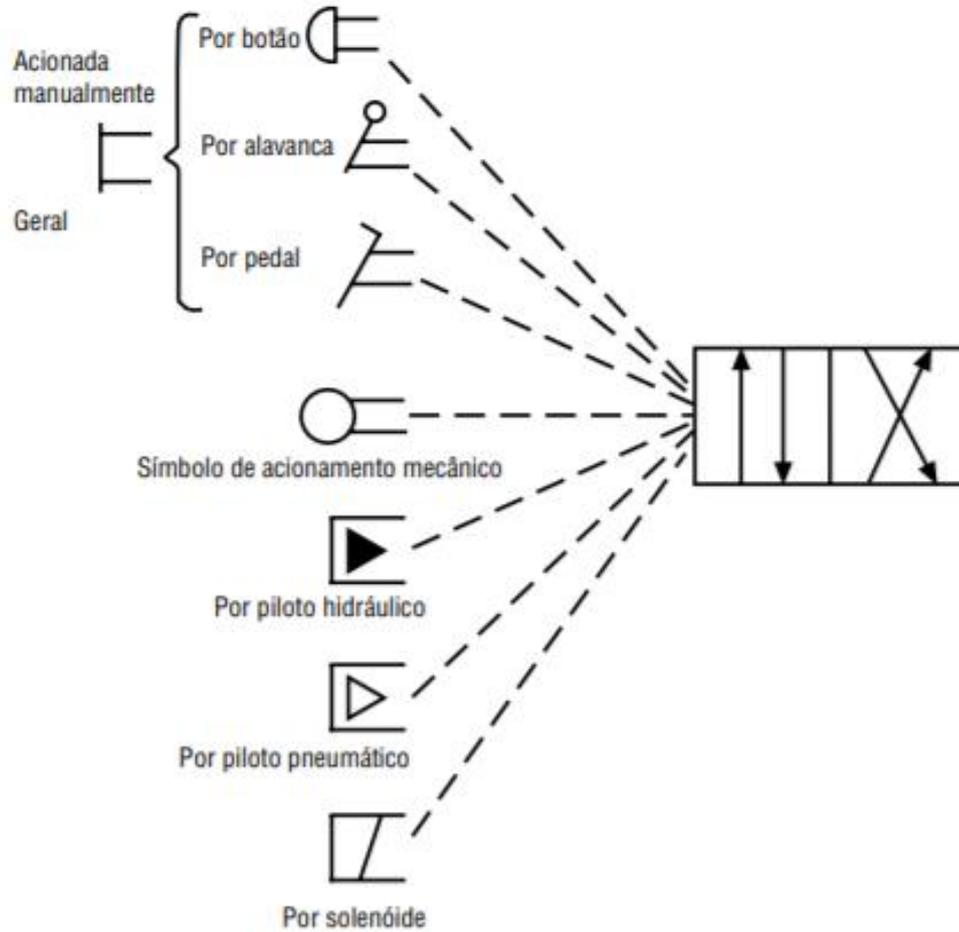


Fonte: Adaptado de ABNT, 2011

### 2.4.5.3 Acionamento

Segundo Rabie (2009) uma válvula de controle direcional através de seu acionamento define a sua aplicação no circuito. Dentro de um sistema hidráulico, as opções de acionamento são: por força muscular, mecânica, pneumática, hidráulica ou elétrica, cada um possuindo distintas aplicabilidades. Alguns exemplos graficamente apresentados podem ser observados na Figura 15.

Figura 15 – Acionamento



Fonte: Adaptado de Parker, 2021

#### 2.4.5.3.1 Acionamento muscular

Segundo Rabie (2009) esse acionamento é geralmente utilizado para iniciar ou parar um movimento, e estão mais presente em válvulas menores e emissoras de sinais. Na Figura 16, são apresentados alguns tipos de acionamento muscular, entre eles por botão, alavanca, alavanca com trava e pedal.

Figura 16 – Acionamento muscular

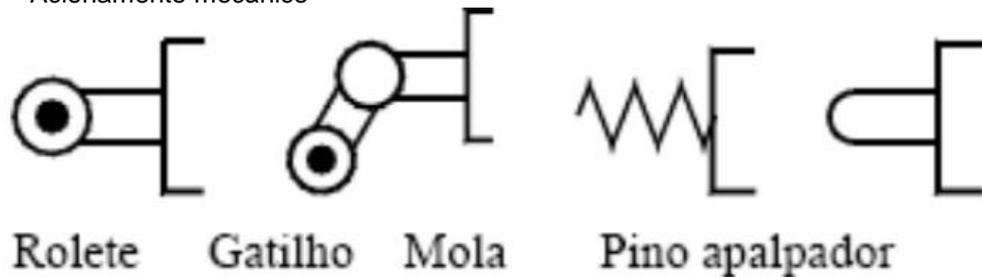


Fonte: Adaptado de Parker, 2021

### 2.4.5.3.2 Acionamento mecânico

Para Rabie (2009), os acionamentos mecânicos, normalmente vem a ser utilizado em válvulas de fins de cilindros, esses acionamentos podem ser do tipo rolete, gatilho, mola ou pino apalpador, como apresentado na Figura 17

Figura 17 – Acionamento mecânico



Fonte: Adaptado de Parker, 2021

### 2.4.5.3.3 Acionamento elétrico

Esse tipo de acionamento, são utilizados em todos os tipos de válvula, e tendo seu acionamento através de sensores, podendo ser eles de posição, de temperatura, de deslocamento. Podem ser do tipo direto, indireto ou combinado, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Acionamento elétrico



Fonte: Adaptado de Parker, 2021

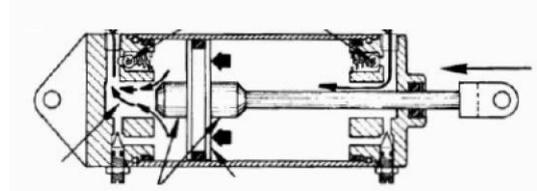
O acionamento elétrico tem um grande diferencial dos outros tipos de acionamento, pois tem uma fácil comunicação com equipamentos controladores como microcomputadores, computadores e aparelhos celulares.

### 2.4.6 Cilindro hidráulico de dupla ação

Para (SULLIVAN, 1989), o cilindro hidráulico dupla ação, tem a possibilidade de movimento em dois sentidos, com o auxílio de um fluido, ele transforma energia

hidráulica em energia mecânica. A energia hidráulica depositada no cilindro, é convertida em uma força, podendo ela ser utilizada para avanço ou retração em um determinado sistema. No anexo A, pode ser observado um catálogo de fornecedor de cilindro hidráulico. Na Figura 19, pode ser observada a representação gráfica de um cilindro de dupla ação.

Figura 19 – Cilindro hidráulico de dupla ação



**Fonte:** Adaptado de Racine, 1981

Esse tipo de cilindro apresenta duas conexões, uma para o movimento de avanço e outra para o movimento de retração. Esse cilindro é muito comum em equipamentos da indústria, pela sua variabilidade de diâmetro, atendendo assim grandes e pequenos trabalhos. Para que possa ser realizado o dimensionamento de um cilindro hidráulico, Bosch Rexroth (2007) traz a Equação 5, como a primeira etapa, que está buscando a área do cilindro.

$$A = \frac{F * Sg_c}{P} \quad (5)$$

Onde:

A = área do cilindro (mm<sup>2</sup>)

F = Força máxima exercida no cilindro (N)

Sg<sub>c</sub> = Coeficiente de Segurança para o cilindro

P = Pressão (MPa)

Ainda para Bosch Rexroth (2007), é apresentada na Equação 6 para o cálculo de diâmetro do cilindro.

$$A = \frac{\pi * d1^2}{4} \quad (6)$$

Onde:

A = Área do cilindro (mm<sup>2</sup>)

d1 = diâmetro do cilindro (mm<sup>2</sup>)

Como o valor que busca ser encontrado é o diâmetro do cilindro realiza-se a reformulação da Equação, deixando o “d1” em evidência, facilitando entendimento futuro, está sendo apresentada na Equação 7.

$$d1 = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (7)$$

Com os valores de diâmetro encontrado, com o auxílio de uma tabela de fornecedor, apresentada no Anexo 1, o dimensionamento exato do cilindro pode ser adquirido. Nessa figura, valores como diâmetro da haste, área de todos os componentes, rotação e as suas respectivas forças são apresentadas.

Utilizando os valores encontrados no catalogo do fornecedor, é possível realizar o cálculo de quanto tempo o cilindro vai demorar para realizar o seu curso total, sendo ele de avanço ou de retração. Bosch Rexroth (2007) traz a Equação 8 para que o valor da velocidade seja encontrada no avanço do cilindro.

$$A = \frac{\pi * D_c^2}{4} \quad (8)$$

Onde:

A = Área (mm<sup>2</sup>)

D<sub>c</sub> = Diâmetro do Cilindro (mm)

Quando o valor de velocidade de retração quer ser encontrada, Bosch Rexroth (2007), traz a Equação 9, para o cálculo de área.

$$A_{retr} = \frac{\pi * (d_1^2 - d_2^2)}{4} \quad (9)$$

Onde:

A<sub>retr</sub> = área de retração (mm<sup>2</sup>)

d<sub>1</sub> = diâmetro embolo (mm<sup>2</sup>)

d<sub>2</sub> = diâmetro da haste (mm<sup>2</sup>)

Na sequência das equações, Bosch Rexroth (2007) diz que podem ser utilizadas as mesmas equações tanto para avanço quanto para retração, então, na Equação 10 é apresentada a fórmula para calcular o volume do cilindro.

$$Vol_{avanço} = \frac{A * h}{1.000.000} \quad (10)$$

Onde:

$Vol_{avanço}$  = Volume do cilindro (Litros)

A = Área (mm<sup>2</sup>)

h = curso do pistão (mm)

Dando sequência no dimensionamento de um cilindro hidráulico, Bosch Rexroth (2007) dá a Equação 11 para que o valor de tempo de curso possa ser encontrado.

$$t = \frac{A * h * 60}{Q * 1.000.000} \quad (11)$$

Onde:

t = tempo do curso (s)

A = Área (mm<sup>2</sup>)

h = curso do pistão (mm)

Q = Vazão (l/min)

Dando início a última etapa para encontrar a velocidade de avanço e retração de um cilindro hidráulico, Bosch Rexroth (2007) apresenta a Equação 12, que vai definir a velocidade.

$$v = \frac{h}{t} \quad (12)$$

Onde:

v = velocidade (mm/s)

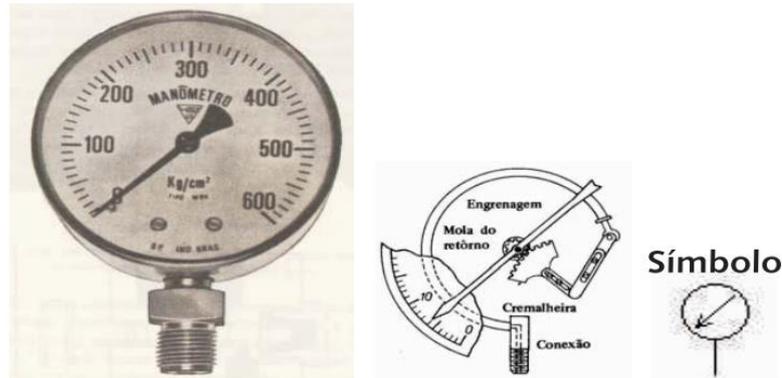
h = curso do pistão (mm)

t = tempo do curso (s)

### 2.4.7 Manômetro

A função do manômetro hidráulico é medir a pressão que está passando por um determinado ponto dentro de um sistema hidráulico, mantendo o controle de que não haja perdas ou mudanças de pressão, que podem influenciar negativamente no funcionamento do sistema (RACINE, 1981). Na Figura 20, observa-se a representação gráfica de um manômetro.

Figura 20 – Manômetro



Fonte: RACINE, 1981.

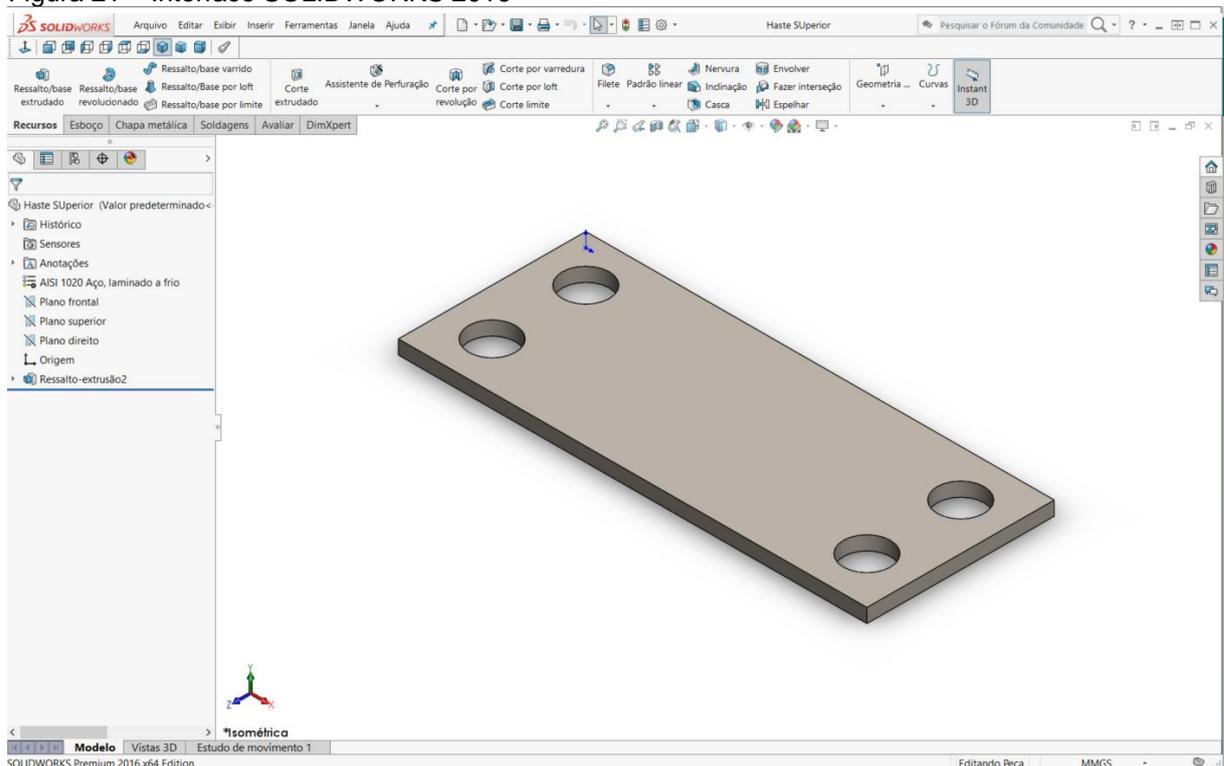
Ainda para (RACINE, 1981), existem diversos tipos de medidores hidráulicos, cada um para um destino, tipo de pressão e de fluido, em sistema com fluidos corrosivos e altas pressões como por exemplo em materiais como o titânio são muitas vezes utilizados para assegurar o desempenho do calibre.

## 2.5 SOFTWARE DE CAD

Para Volpato (2017) *et. al.*, para qualquer tipo de projeto ser fabricado, é necessário um desenho tridimensional, e para que isso possa ser realizado grande parte das vezes este desenho tridimensional é realizado em um software de CAD (*computer-aided design*).

Ainda para Volpato (2017) *et. al.*, a modelagem de figuras sólidas é a forma mais adequada de obter um desenho tridimensional, melhorando assim a qualidade do projeto e facilitando o entendimento para os operários. Um dos principais softwares de CAD é o SolidWorks, além de ser um programa muito completo e com diversos recurso ainda conta com uma versão educacional, que permite estudantes aprender e se desenvolver dentro do Software. Na Figura 21 pode ser observado a interface do SolidWorks 2017 Education Edition.

Figura 21 – Interface SOLIDWORKS 2016



Fonte: Autor, 2021

Para Fialho (2012) O software de CAD SolidWorks é um programa para projetos mecânicos e eletromecânicos que tem como funcionalidade esboçar ideias, dimensionar e adicionar recursos em seus modelos, além de permitir a simulação, a resistência mecânica com base em condições de contorno conhecidas, e ainda gerar desenhos detalhados.

### 2.5.1 Simulação

Conforme SCHWAB (2018), com o passar dos anos, as ferramentas de desenho computacional foram evoluindo, e junto a isso programas que realizam as simulações em componentes e estruturas vieram a surgir, possibilitando saber o comportamento que esses componentes e estruturas vão ter ao sofrerem uma aplicação de um esforço externo.

Para Almeida (2019), com a evolução da simulação computacional, a qualidade e eficiência no desenvolvimento foram os principais beneficiados. A simulação computacional ajuda a garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento de produtos. Com essas simulações, o custo e tempo de projeto, reduzem drasticamente, pois os erros são encontrados com muito mais facilidade e as soluções aparecem

mais claras. Entre essas simulações, pode-se citar: estáticas, de fluidos, térmicas, acústicas entre outras.

Ainda conforme Almeida (2019), os operadores podem testar e aperfeiçoar as configurações das máquinas para o próximo produto na forma virtual antes de mudanças reais, otimizando recursos e desempenho, e gerando economia.

## 2.6 NORMAS REGULAMENTADORAS

Segundo a ENIT (Escola Nacional da Inspeção do Trabalho) as normas regulamentadoras, tratam das obrigações, direitos e deveres que tanto os empregadores como os trabalhadores devem cumprir dentro do território nacional. Essas normas completam o Artigo V da Consolidação das Leis Trabalhistas (ENIT, 2019a).

### **2.6.1 NR12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**

Para a ENIT (2019a), a NR-12 (Norma Regulamentadora nº12) deixa claro os requisitos necessários para garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores. Nesta norma, a principal ideia é prevenir acidentes e doenças relacionados a utilização de máquinas e equipamento. Essas medidas de precaução são responsabilidades da empresa ou empregador, e vão desde a primeira até a última etapa de um processo.

### **2.6.2 NR17 – Ergonomia**

Para a ENIT (2019b), a NR-17 (Norma Regulamentadora nº17) está diretamente ligada as condições de trabalho em relação as características fisiológicas de cada trabalhador, tendo como prioridade o conforto e segurança dos mesmos, podendo assim ter o seu melhor desempenho aplicado. Qualquer tipo de esforço realizado seja com atividades de levantamento, transporte e descarga de mercadorias, movimentos repetitivos e às condições ambientais dos locais de trabalho estão relacionados a ergonomia.

## 2.7 MÁQUINAS DE ENSAIO

Para a Biopdi (2021) que é uma das principais fabricantes de máquinas de ensaio do mercado, as máquinas de ensaio podem realizar ensaios de uma gama

muito grande de materiais podendo ser eles, metais, concreto, borrachas, tecidos, vegetais, entre outros. Os principais setores beneficiados por essas máquinas são de Metalmecânica, construção civil, medicina, automobilismo. Na Figura 22 pode-se observar uma máquina de ensaio para tração.

Figura 22 – Máquina de ensaio



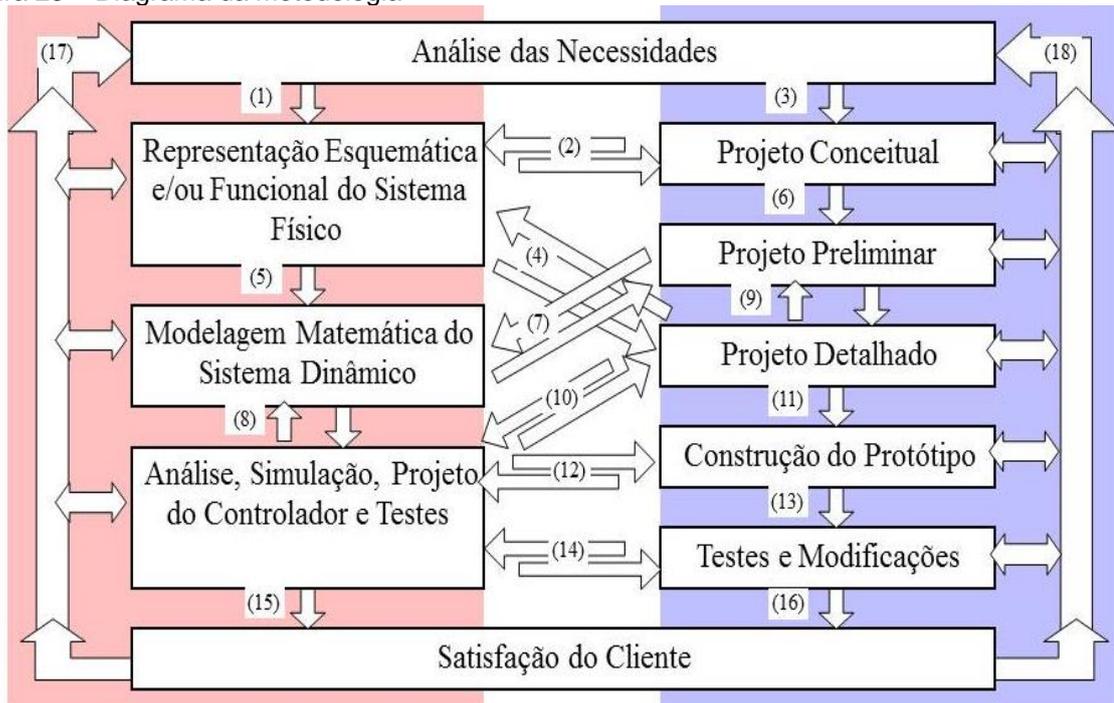
Fonte: Biopdi, 2021

Ainda para Biopdi (2021) o principal objetivo de uma máquina de ensaio é conseguir determinar as propriedades de um material e ver o seu comportamento quando lhe aplicado um esforço, essas propriedades podendo ser físicas e químicas. Para as propriedades físicas, a principal é a propriedade mecânica que basicamente é o comportamento do material.

### 3 METODOLOGIA

Para Valdiero e Thesing (2016) em um projeto de um produto a primeira fase que deve ser realizada em uma metodologia é a análise das necessidades. Nessa etapa, define-se os requisitos e as metas de desempenho. Ferramentas de análise do ciclo de vida do produto, de Quality Function Deployment – QFD (Desdobramento da função qualidade) e de pesquisa de mercado podem ser utilizados nesta fase.

Figura 23 – Diagrama da metodologia



Fonte: Valdiero, Thesing, 2016

Seguindo a proposta, após a realização da análise das necessidades, realiza-se a Representação esquemática e/ou funcional do sistema físico: com base nos requisitos e nas especificações de desempenho, que convertido para a metodologia atual passa a ser o projeto conceitual (2) e também algumas informações do detalhamento dos componentes mecânicos (4), para o desenvolvimento desta fase, podem ser utilizadas ferramentas do tipo diagramas de blocos funcionais ou uma representação esquemática dos componentes elétricos e mecânicos para facilitar a visualização.

A modelagem matemática do sistema dinâmico: a partir do conhecimento do sistema físico (5), é onde podem ser aplicadas as leis da física e ferramentas de tratamento, assim podendo obter representações do sistema na forma variável de

estado, de modelos não lineares e lineares, de funções de transferência entre outras formas de representação do comportamento dinâmico do sistema. Esta fase interage com o projeto preliminar (7) dos elementos de máquina e obtém uma estimativa dos parâmetros nominais do sistema modelado.

Análise, simulação, projeto de controlador e testes: tendo como entrada a modelagem (8) realizada na fase anterior, técnicas de controle linear e não linear, análise de sensibilidade e de estabilidade, ferramentas de Computer Aided Control System Design – CACSD e instrumentação de testes podem vir a ser utilizadas nessa etapa. Ela está diretamente ligada com o projeto detalhado (10), a construção (12) e os testes (14) do protótipo, dados pela metodologia, ou seja, nesta fase ocorre o desenvolvimento e a validação da proposta.

Se os resultados são satisfatórios para todas as etapas anteriores, tem-se, então, a fase de uso e testes pelo usuário em campo, e a avaliação do cliente. Essas etapas são importantes informações, as quais devem ser analisadas visando a melhorias no projeto.

Para Valdiero e Thesing (2016), o entendimento das atividades realizadas no desenvolvimento de um projeto, facilita a compreensão e melhor uso do Projeto P&D, além de poder adquirir um pensamento mais crítico, criativo e inovador por intermédio da metodologia.

### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A elaboração do projeto usou como referência a metodologia de Processo de Projeto do Sistema Mecânico, onde são apresentadas as fases do projeto passando pelas fases de Análise das necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, construção de protótipo e testes e modificações, mas para atender as necessidades e objetivos deste projeto apenas as etapas de análise das necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado foram utilizadas.

#### 3.1.1 Análise das necessidades

Tendo em vista que grande parte das bancadas de ensaio tem em sua estrutura apenas a possibilidade de um teste e com um elevado custo de aquisição, surge a ideia de suprir essa necessidade desenvolvendo uma bancada de ensaios

multifuncional, que em apenas uma estrutura possa ser realizados testes de tração, compressão e flexão, além de possuir um custo abaixo do mercado, com a possibilidade de utilizar materiais que a FAHOR possui.

Para a realizar confirmação das análises de necessidades, realizou-se o desenvolvimento de um QFD, que é uma ferramenta de qualidade, que tem como objetivo garantir a qualidade dos produtos e atender as necessidades que o mercado e os clientes precisam.

### **3.1.2 Projeto conceitual**

A primeira etapa do projeto conceitual é o desenvolvimento da modelação funcional do produto e descrevendo o mesmo de forma bem simples. Nessa etapa, os princípios físicos e matemáticos são desconsiderados, isso faz com que o foco fique em “o quê” deve ser desenvolvido e não “como” desenvolver.

Para a realização da segunda etapa do projeto conceitual, a parte abstrata é transformada em algo concreto, essa etapa é chamada de princípios de solução e matriz morfológica, onde as ideias surgidas na modelação funcional, passam a receber análises físicas e matemáticas. É necessário buscar por sistemas físicos que sejam viáveis para o produto desenvolver suas determinadas funções.

Esboços ou diagramas de esqueleto podem ajudar bastante nessa etapa, eles podem ser realizados de forma aproximada, sem muita importância para dimensões e valores, podendo apresentar movimento e como determinada função será cumprida.

Buscar alternativas de concepção é a terceira etapa dentro do projeto conceitual, onde são combinadas os princípios individuais para obter-se princípios totais do produto.

### **3.1.3 Projeto preliminar**

O projeto preliminar para a metodologia de Valdiero, está diretamente ligada a modelagem matemática do modelo dinâmico, nessa etapa do projeto o foco é buscar a melhor solução para o desenvolvimento, onde é permitido as formulações matemáticas e simulações computacionais.

As demais alternativas propostas nas etapas anteriores podem ser deixadas de lado, mas não totalmente descartadas, caso a principal solução não seja viável pode ser necessário pensar em outra.

### **3.1.4 Projeto detalhado**

A fase de detalhamento utiliza as informações levantadas por todos os métodos anteriores, como dados de entrada para a modelagem das soluções que vão compor os requisitos de engenharia do produto. Nessa fase são feitos os cálculos para especificação das características gerais do sistema hidráulico, cálculos de especificação de componentes e seleção de componentes. Um modelo da bancada será desenvolvido utilizando-se o software CAD Solid Works, nessa atividade a criatividade e o conhecimento técnico do projetista são fatores primordiais para o sucesso do design do produto. A fim de verificar a resistência das estruturas projetadas serão realizadas simulações virtuais de carga estática utilizando o software SolidWorks

O detalhamento é finalizado com a apresentação dos desenhos dos componentes, estes documentos devem fornecer informações suficientes para a construção e utilização do equipamento de forma segura e eficiente.

## **3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

Para o desenvolvimento deste projeto de bancada será utilizada a biblioteca física e virtual da FAHOR, além de catálogos de materiais que estão disponibilizados na Internet. Softwares do pacote Office da Microsoft e SolidWorks, serão utilizados para a realização de testes de comprovação e desenhos, além do espaço físico disponibilizado pela FAHOR.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DAS NECESSIDADES

#### 4.1.1 Requisitos de projeto

Para realizar a confirmação das análises de necessidades e requisitos, realizou-se o desenvolvimento do Diagrama de Mudge e de um QFD, que são ferramentas de qualidade, demonstrados no quadro 1, que tem como objetivo atender as necessidades que o mercado e os clientes precisam, além de dar prioridades dentro do projeto.

Quadro 1 – Requisitos

| Requisitos | Descrição                                  | Requisito de cliente atendido                      |
|------------|--|--|
| 1          | Materiais de Fácil Aquisição               | Projeto Simplificado                               |
| 2          | Realização de vários ensaios               | Funcionalidade da bancada                          |
| 3          | Cilindro Móvel                             | Realizar ensaio de flexão em vários pontos da peça |
| 4          | Utilização de 2 bombas hidráulicas         | Variar Velocidade de avanço e retração do cilindro |
| 5          | Utilização de perfis U para a estrutura    | Boa resistência                                    |
| 6          | Utilização de Materiais que a FAHOR possui | Baixo custo  |
| 7          | Regulagem de altura                        | Teste em corpos de prova de vários tamanhos        |
| 8          | Proteções Mecânicas                        | Segurança para o operador                          |
| 9          | Rodas para a bancada                       | Mobilidade   |
| 10         | Sistema em Arduino                         | Apresentação dos resultados                        |

Fonte: Autor, 2021

O Diagrama de Mudge tem como finalidade comparar os requisitos de dois em dois e apresentar como resposta qual requisito tem uma maior importância para o projeto.

O cruzamento é definido da seguinte forma; é cruzado uma linha com uma coluna, e após colocado uma letra e um número, o número representa qual dos dois requisitos é o mais importante. já a letra representa o quanto esse requisito é mais importante, cada letra é classificada por um número de colocação sendo as letras A, B e C tendo suas pontuações respectivamente em 5, 3 e 1. No final de cada linha é realizada a soma da quantidade de vezes que cada número pontuou com a respectiva letra.

Figura 24 – Mudge

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |      |       |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------|-------|
|   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  | Soma |       |
| 1 | 2A | 3B | 4C | 5C | 1C | 7B | 1C | 9B | 10C | 2    | 1,7%  |
|   | 2  | 2B | 2A | 2B | 2A | 2B | 2B | 2A | 2B  | 35   | 29,4% |
|   |    | 3  | 3B | 3B | 3A | 7C | 3B | 3B | 3C  | 21   | 17,6% |
|   |    |    | 4  | 4C | 4A | 7B | 4B | 4B | 10C | 13   | 10,9% |
|   |    |    |    | 5  | 5B | 7B | 5C | 5C | 10B | 6    | 5%    |
|   |    |    |    |    | 6  | 7B | 8C | 6C | 10B | 1    | 0,8%  |
|   |    |    |    |    |    | 7  | 7B | 7A | 7C  | 22   | 18,5% |
|   |    |    |    |    |    |    | 8  | 8C | 10B | 2    | 1,7%  |
|   |    |    |    |    |    |    |    | 9  | 10B | 3    | 2,7%  |
|   |    |    |    |    |    |    |    |    | 10  | 14   | 11,8% |
|   |    |    |    |    |    |    |    |    |     | 119  | 100%  |

Fonte: Autor, 2021

Quando o percentual de cada requisito é encontrado é realizada a hierarquização dos requisitos apresentada no quadro 2, dessa forma quanto maior o percentual mais relevante este requisito é para o projeto.

Quadro 2 – Hierarquização

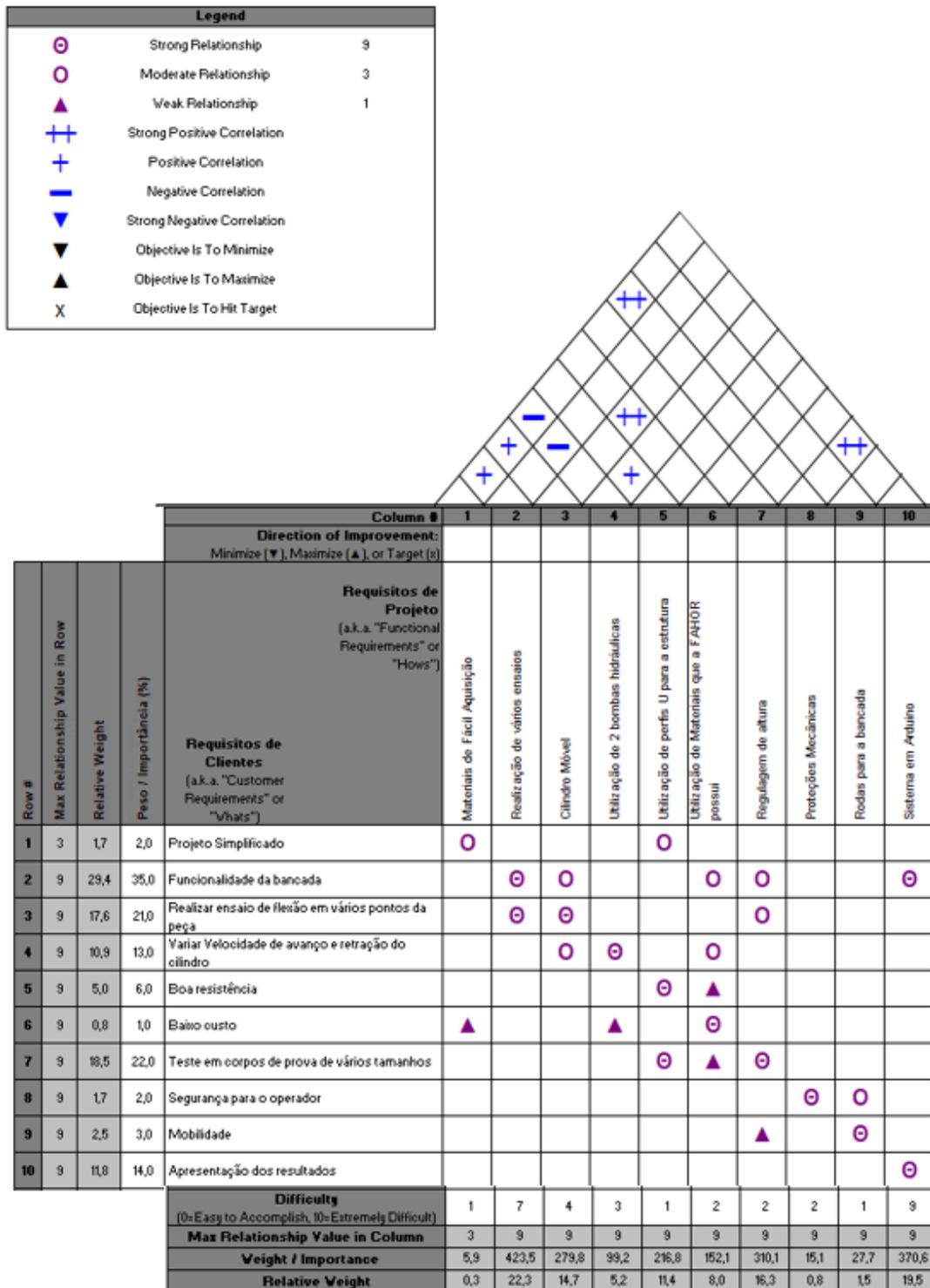
| Nº | Requisitos                                 | Importância |
|----|--|-------------|
| 1  | Realização de vários ensaios               | 35          |
| 2  | Regulagem de altura                        | 22          |
| 3  | Cilindro Móvel                             | 21          |
| 4  | Sistema em Arduino                         | 14          |
| 5  | Utilização de 2 bombas hidráulicas         | 13          |
| 6  | Utilização de perfis U para a estrutura    | 6           |
| 7  | Rodas para a bancada                       | 3           |
| 8  | Materiais de Fácil Aquisição               | 2           |
| 9  | Proteções Mecânicas                        | 2           |
| 10 | Utilização de Materiais que a FAHOR possui | 1           |

Fonte: Autor, 2021

#### 4.1.2 QFD – Casa da Qualidade

Também conhecido como casa da qualidade, o QFD é um método que busca transformar a voz do cliente em características de engenharia de um produto através de uma comparação sistemática. O nível de importância que um requisito de engenharia de projeto tem sobre um requisito de cliente, quando essa relação existe, é avaliado como forte, médio ou fraco. A Figura 25 apresenta o QFD aplicado ao projeto com os requisitos de cliente e de projeto.

Figura 25 – QFD



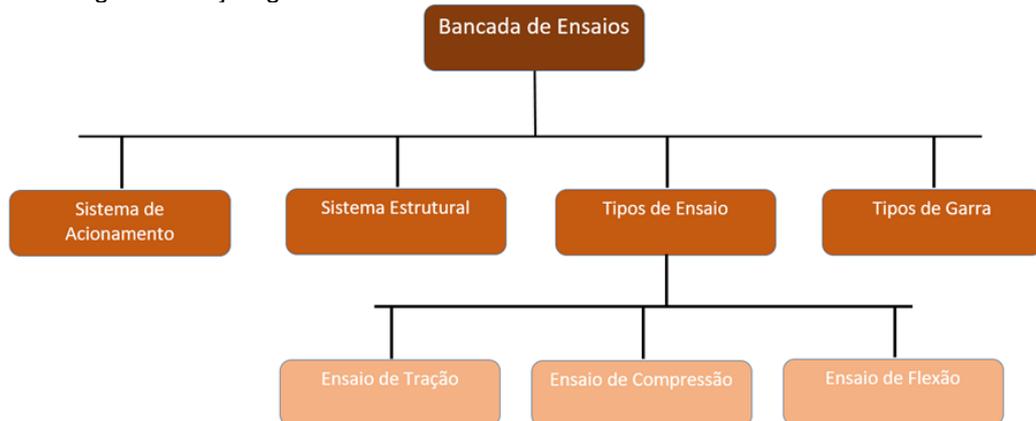
Fonte: Autor, 2021

O QFD compara a relação existente entre os requisitos de engenharia. Existem casos em que aumentar o valor meta de um requisito de engenharia exige aumentar ou diminuir o valor de outro requisito. Em outros casos os requisitos não possuem nenhuma relação.

## 4.2 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual, que abrange o desenvolvimento das funções do produto, tem seu início com o desenvolvimento de um diagrama de função global do produto, onde são apresentadas os componentes gerais da bancada, o diagrama está apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Diagrama função global



**Fonte:** Autor, 2021

Para que o cilindro possa realizar o seu trabalho, que no caso deste projeto é fazer a retração ou avanço do pistão, é necessário haver um sistema de acionamento, que pode ser do tipo mecânico, pneumático, elétrico ou hidráulico, e para este caso, optou-se pelo sistema hidráulico, devido a sua facilidade e viabilidade.

O sistema Estrutural é baseado nas necessidade do cliente, onde é necessário a utilização de um material resistente que suporte a realização de todos os testes sem que haja uma grande deformação na estrutura e nem o rompimento nos pontos críticos. Para que isso possa ser atingido, utilizou-se vigas de perfil U, essas vigas tem como principal característica grande resistência à diversos esforços que lhes são impostos, além de permitir um fácil encaixe entre as vigas, resultando assim em um melhor acabamento. Essas vigas são comercializadas em barras de 6 e 12 metros, possibilitando assim a menor perda de material possível, pois pode ser cortada de acordo com cada necessidade. A estruturação da bancada teve como principais influenciadores as prensas hidráulicas que a FAHOR possui e as máquinas de ensaio já existentes no mercado, buscando fazer uma integração entre ambas e assim conseguindo incorporar os requisitos ao produto. Na Figura 27 pode ser observada uma das prensas utilizadas pra análise e ideias.

Figura 27 – Prensa hidráulica FAHOR



**Fonte:** Autor, 2021

O intuito da bancada de ensaios e seu diferencial para as demais encontradas no mercado, é a possibilidade de serem realizados diversos tipos de ensaios em apenas uma estrutura, alterando apenas os modos de fixação e o posicionamento do cilindro e da mesa central. Com os estudos das necessidades e uma análise de estrutura, considerou-se que os ensaios que a bancada poderá realizar são de tração, compressão e flexão em 3 pontos, sendo esses os principais testes realizados em empresas e instituições.

Para que o processo de ensaio possa ser realizado é necessário que haja uma fixação ou algum apoio para que o corpo de prova possa ser submetido ao seu ensaio, neste caso, são utilizados 3 modos de fixação, que são eles garra de cunha para o ensaio de tração, já para realizar um ensaio de compressão as garras de ensaios são duas superfícies planas, uma posicionada na mesa central e outra no cilindro e a garra de ensaio de flexão que é uma lança fixada no cilindro e dois cavaletes posicionados na mesa central fazendo uma prensagem no corpo de prova. Quando o usuário quiser

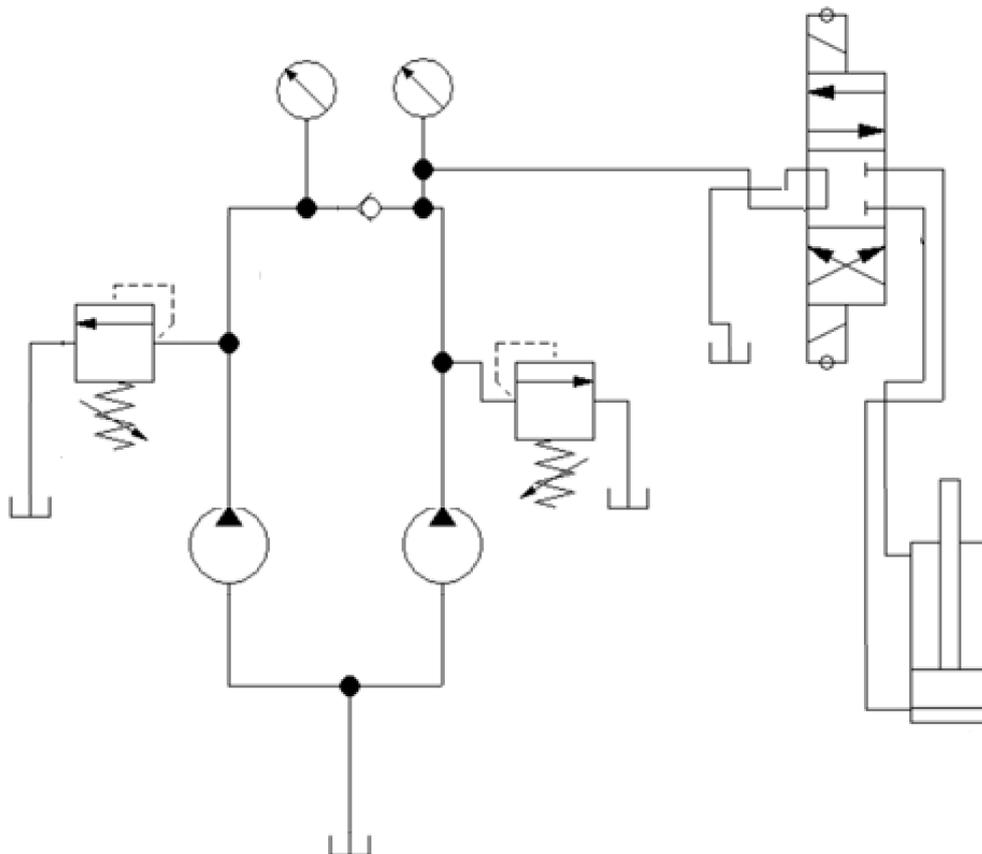
realizar um ensaio de flexão, o mesmo vai posicionar outro sistema fixação, este composto com uma superfície em forma de lâmina posicionado no cilindro e dois pequenos cavaletes móveis na mesa central.

### 4.3 PROJETO PRELIMINAR

#### 4.3.1 Esquema hidráulico

Com a utilização do software e com os dados retirados através do dimensionamento hidráulico, realizou-se o esquema hidráulico da bancada. Sua funcionalidade tem início através de duas bombas hidráulicas retirando o fluido do reservatório, ambas passando por válvulas de alívio, uma com 15bar de pressão nominal e outra com 170bar, após essas válvulas de alívio realizarem as suas funções o fluido é direcionado para a válvula direcional, fazendo com que o cilindro avance ou retraia. Na Figura 28, o sistema hidráulico é representado graficamente com todos seus componentes e funcionalidades.

Figura 28 – Esquema hidráulico



Fonte: Autor, 2021

Com o esquema hidráulico desenvolvido e com os componentes adicionados, o quadro 3 apresenta todos os componentes utilizados na bancada, a quantidade respectivamente, constando também a utilização de manômetros que não estão diretamente ligados ao esquema, mas que são utilizados para fazer o controle de pressão durante o processo.

Quadro 3 – Componentes sistema hidráulico

| Componente          | Quantidade |
|---------------------|------------|
| Reservatório        | 1          |
| Bomba Hidráulica    | 2          |
| Válvula de Alívio   | 2          |
| Válvula de direção  | 1          |
| Cilindro Hidráulico | 1          |
| Manômetro           | 2          |

Fonte: Autor, 2021

#### 4.3.2 Desenhos do SolidWorks

Para a realização da estrutura da bancada, optou-se por uma maneira simplificada e resistente, seguindo os requisitos do cliente e do projeto, utilizando um perfil U como padrão para toda a estrutura, sendo esse perfil comercializado com medidas padrões, como pode ser observado no Anexo C.

Figura 29 – Componentes da bancada

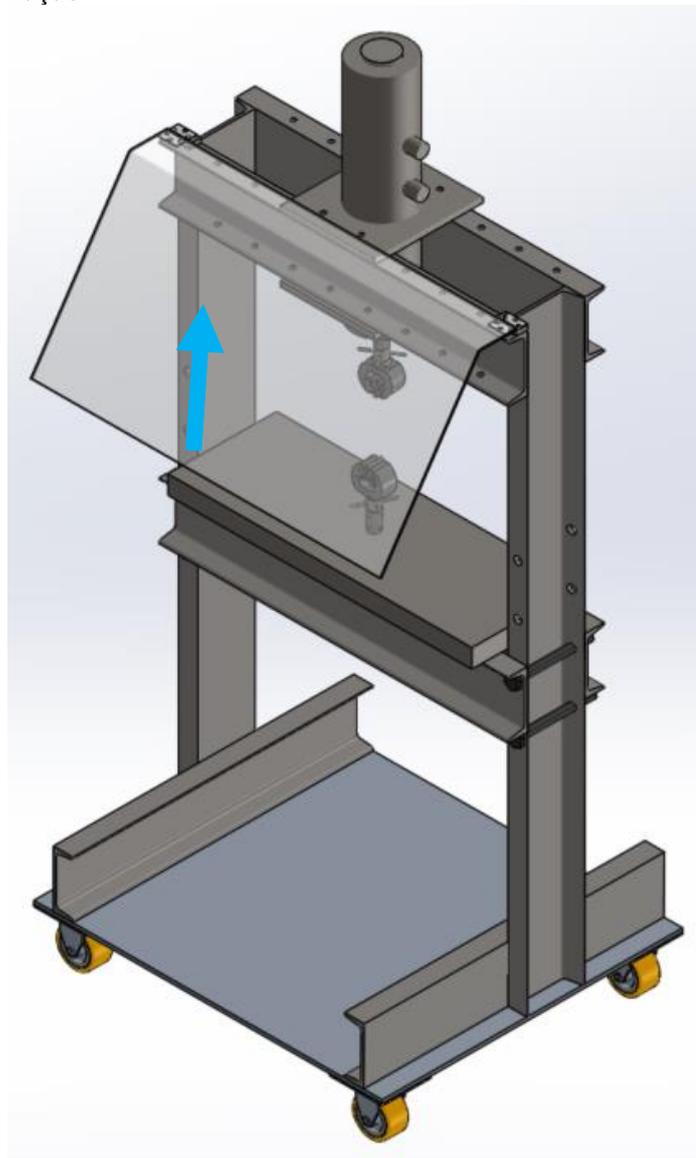
| <i>Nº DO ITEM</i> | <i>Nº DA PEÇA</i>             | <i>QTD.</i> |
|-------------------|-------------------------------|-------------|
| 1                 | <i>PERFIL C 1600</i>          | 2           |
| 2                 | <i>PERFIL C 930 Superior</i>  | 2           |
| 3                 | <i>PERFIL C base inferior</i> | 2           |
| 4                 | <i>PERFIL C 930</i>           | 2           |
| 5                 | <i>Mesa</i>                   | 1           |
| 6                 | <i>Base inferior</i>          | 1           |
| 7                 | <i>suporte dobradiça</i>      | 2           |
| 8                 | <i>Trava de elevação</i>      | 4           |
| 9                 | <i>Rodas</i>                  | 4           |
| 10                | <i>Ligação Central</i>        | 2           |
| 11                | <i>Dobradiça</i>              | 2           |
| 12                | <i>Cilindro</i>               | 1           |
| 13                | <i>Proteção mecânica</i>      | 1           |

Fonte: Autor, 2021

Tendo como base que a estrutura da bancada vai se manter sempre a mesma, a variação que pode ser feita é apenas dos dispositivos de fixação, o posicionamento do cilindro e a altura da bancada. Na Figura 29, é possível observadas cada componente da bancada, além da quantidade necessária de cada item.

Os dispositivos de fixação devem ser posicionados de acordo com as necessidades do usuário. No anexo D, são apresentadas os meios de fixação comercializados no mercado. Já o acionamento do cilindro sendo ele para avanço e retração também são controlados pelo usuário. Para o teste de tração é necessário a utilização de duas garras, uma posicionada na mesa central e outra no cilindro hidráulico, e fazer com que o cilindro realize retração. Na Figura 30, é apresentada a bancada de ensaios quando um teste de tração é realizado.

Figura 30 – Bancada tração



Outro ensaio que pode ser realizado na bancada é o de compressão, onde o cilindro realiza um avanço em direção a mesa central, fazendo com que o corpo de prova seja esmagado. Na Figura 31 é apresentada a bancada de ensaios quando um teste de compressão é realizado.

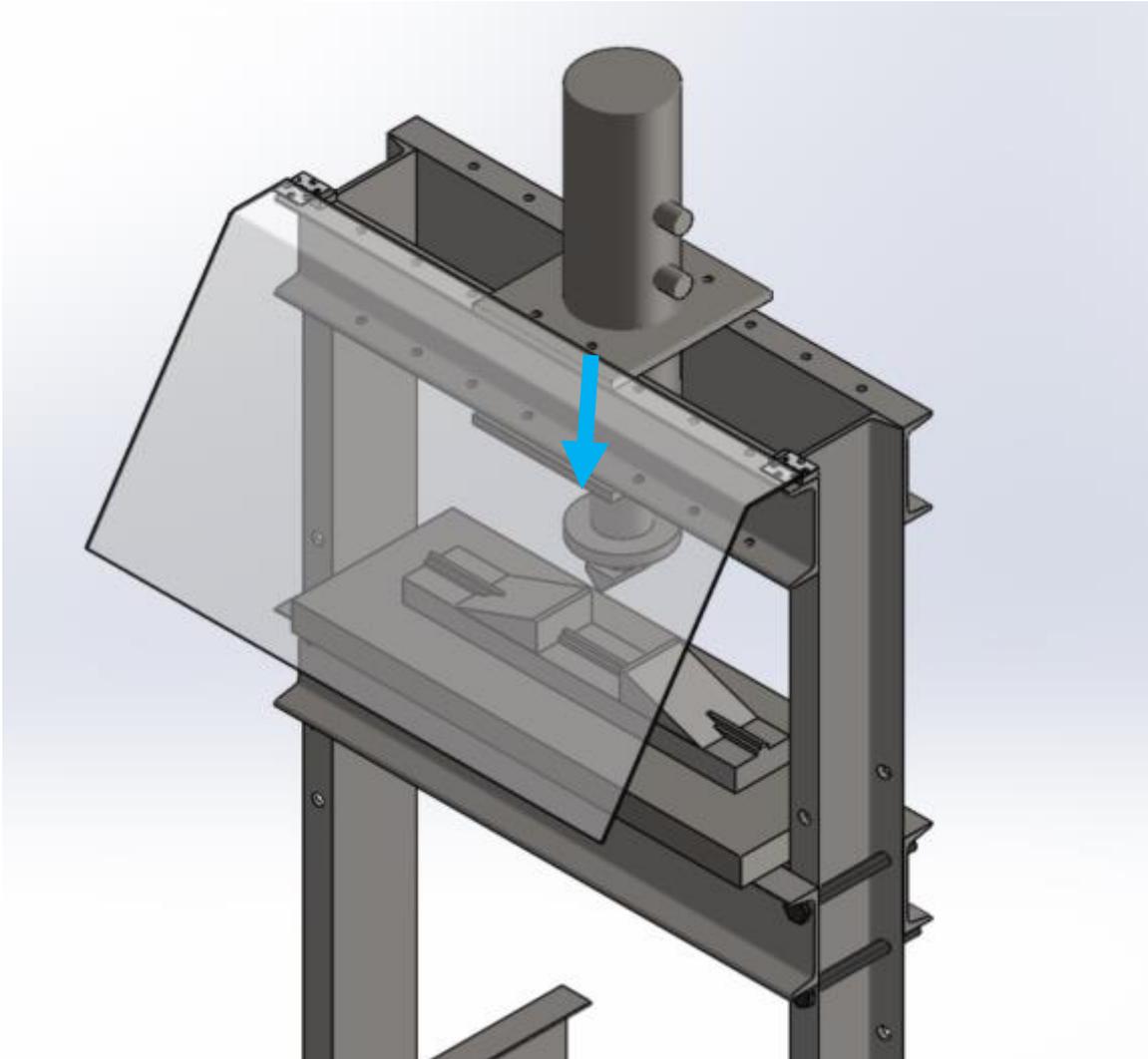
Figura 31 – Bancada compressão



**Fonte:** Autor, 2021

O ensaio de flexão é realizado através de um dispositivo fixado na mesa central da bancada, este dispositivo é composto de dois suportes para apoio do corpo de prova, este suporte tem a possibilidade de ser ajustado de acordo com o comprimento do corpo de prova. Com o corpo de prova fixado, o cilindro é acionado na função de avanço indo em direção ao corpo de prova. Com uma lança posicionada no centro, fazendo com que o material a ser analisado sofra um esforço de flexão. Uma representação do teste pode ser observada na Figura 32.

Figura 32 – Bancada flexão



Fonte: Autor, 2021

Para o desenvolvimento da bancada com o auxílio do catálogo do fornecedor, utilizou-se o perfil com as seguintes dimensões: altura de 152.4 mm, 51.7 mm de largura e 7.98 mm de espessura de alma. Toda a estrutura foi desenvolvida através desse perfil, tendo como variação a seu tamanho total e as suas respectivas furações. Os desenhos técnicos das barras de perfil U podem ser observados nos apêndices A e B.

Para as furações do Perfil U onde o cilindro hidráulico pode se movimentar e após estabelecer um local deve ser fixado, utilizou-se a medida de 12mm, e um parafuso sextavado de 7/16" com um comprimento de 2", seguindo a padronização do catálogo do fornecedor, que pode ser observado no anexo B.

## 4.4 PROJETO DETALHADO

### 4.4.1 Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento Hidráulico tem seu início a partir do ponto onde serão utilizadas duas bombas hidráulicas, sendo uma de alta e outra de baixa pressão.

Tendo como informação que a vazão desejada seja de 3,31 litros por minuto, a pressão que se busca obter é de 115,68 bar além de considerar um rendimento geral de 0,855, com a utilização da Equação 13 pode ser obtido a potência de acionamento.

$$P_{an} = \frac{p * Q}{600 * \eta_{ges}}$$

$$P_{an} = \frac{115,68 * 3,31}{600 * 0,855} \quad (13)$$

$$P_{an} = 0,75 \text{ kW}$$

Com o valor da potência de acionamento encontrado pode se dar sequência ao dimensionamento, através da utilização da Equação 14 e os valores informados de potência de acionamento, rendimento geral e pressão, e a vazão do motor elétrico tem condições de enviar.

$$Q1 = \frac{P_{an} * 600 * \eta_{ges}}{p}$$

$$Q1 = \frac{0,75 * 600 * 0,855}{115,68} \quad (14)$$

$$Q1 = 3,31 \text{ l/min}$$

Para finalizar o dimensionamento e encontrar o valor real na Tabela de bombas hidráulicas é necessário utilizar a Equação 15, que disponibilizará o volume nominal, tendo em vista que o rendimento volumétrico é de 0,95.

$$V = \frac{Q1 * 1000}{n * \eta_{vol}}$$

$$V = \frac{3,31 * 1000}{1740 * 0,95} \quad (15)$$

$$V = 2 \text{ cm}^3/\text{rotação}$$

Para a segunda bomba hidráulica, o dimensionamento segue os mesmos princípios da primeira, mas com uma diferença nos dados de entrada, tendo uma vazão desejada de 41,32 litros por minuto, a pressão que se busca obter é de 9,25 bar. Com a utilização da Equação 16 pode ser obtido a potência de acionamento.

$$P_{an} = \frac{p * Q}{600 * \eta_{ges}} \quad (16)$$

$$P_{an} = \frac{9,25 * 41,32}{600 * 0,855}$$

$$P_{an} = 0,75 \text{ kW}$$

Com o valor da potência de acionamento encontrado, pode se dar sequência ao dimensionamento, onde através da utilização da Equação 17 e os valores informados de potência de acionamento, rendimento geral e pressão, a vazão do motor elétrico tem condições de enviar.

$$Q1 = \frac{P_{an} * 600 * \eta_{ges}}{p} \quad (17)$$

$$Q1 = \frac{0,75 * 600 * 0,855}{9,25}$$

$$Q1 = 41,32 \text{ l/min}$$

Para finalizar o dimensionamento e encontrar o valor real na Tabela de bombas hidráulicas é necessário utilizar a Equação 18, que disponibilizará o volume nominal, tendo em vista que o rendimento volumétrico é de 0,95.

$$V = \frac{Q1 * 1000}{n * \eta_{vol}} \quad (18)$$

$$V = \frac{41,32 * 1000}{1740 * 0,95}$$

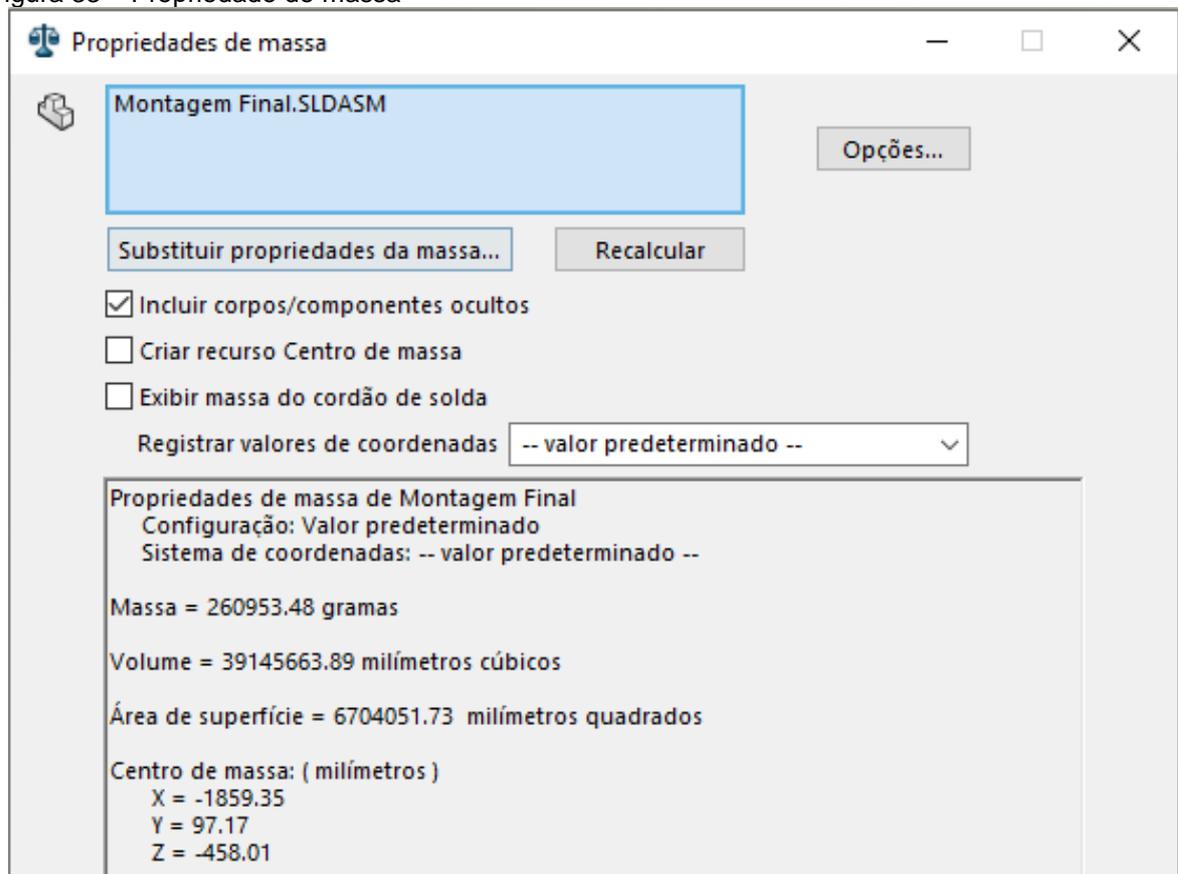
$$V = 25 \text{ cm}^3/\text{rotação}$$

Com os valores de volume nominal, com o auxílio do catálogo Bomba Dupla, apresentado na Figura 9, parâmetros que poderão ser utilizados futuramente, podem ser encontrados.

#### 4.4.2 Análise estrutural

Para que haja comprovação de que a estrutura da bancada suporta os testes foram desenvolvidas algumas análises estruturais com o auxílio do software SolidWorks. Uma informação relevante para o projeto é a massa total da estrutura, descontando os valores do cilindro e dos meio de fixação, tendo como resultado um valor de 260950 gramas, convertido para uma unidade que está mais habituado a utilizar, resulta em 260.95 kg. As propriedades de massa obtidas através do SolidWoks é apresentada na Figura 33.

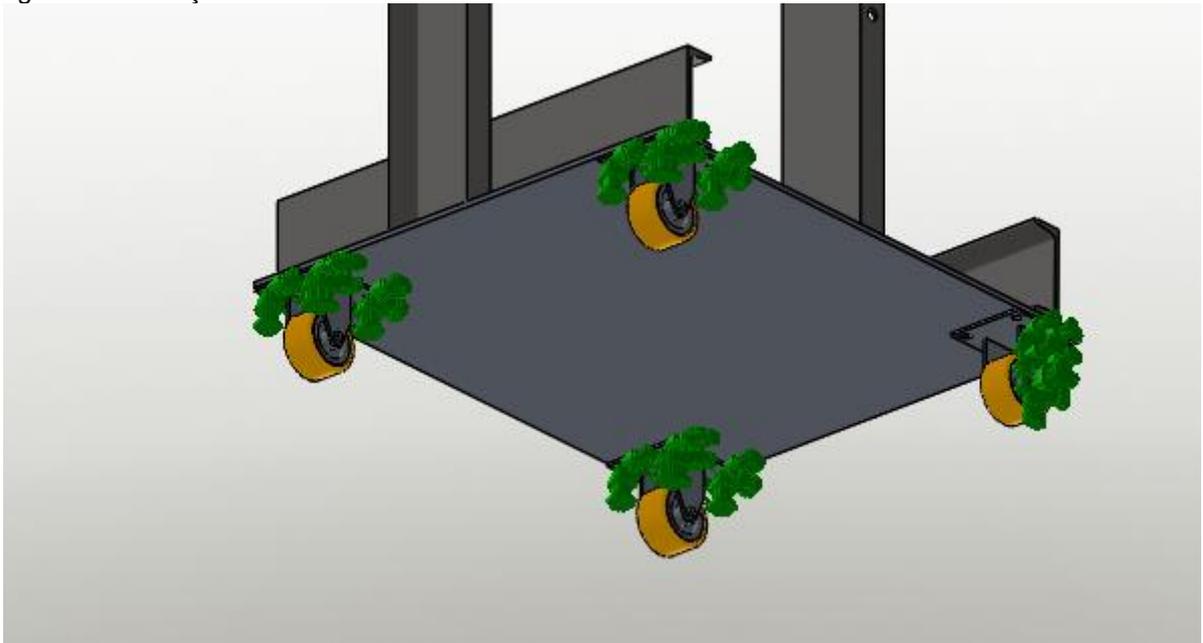
Figura 33 – Propriedade de massa



Fonte: Autor, 2021

Para a realização da análise estrutural, foi utilizado como suposição que a bancada estará em forma estática, ou seja, sem que haja um movimento na estrutura, com isso fixando a parte inferior, como apresentado na Figura 34.

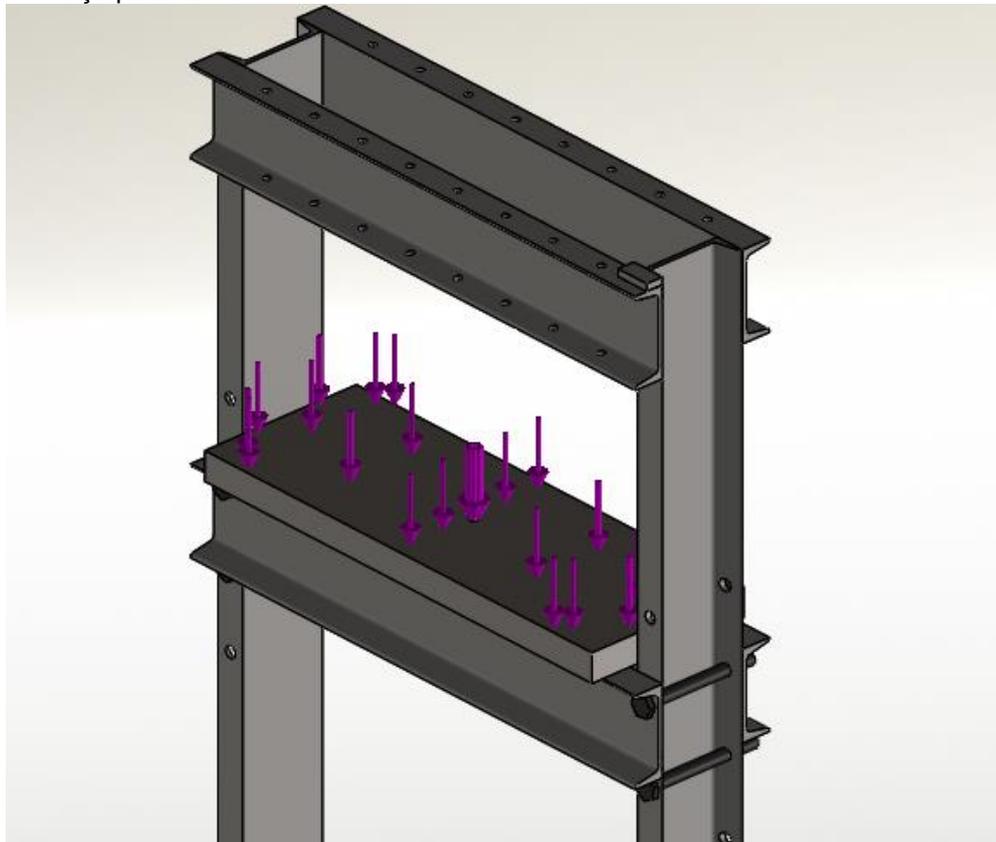
Figura 34 – Fixação



Fonte: Autor, 2021

Quanto à força a ser aplicada, todas as forças foram aplicadas na mesa central, com uma carga de 18000 N, sendo uma aplicada para baixo, representando os ensaios de compressão e de flexão, como apresentado na Figura 35.

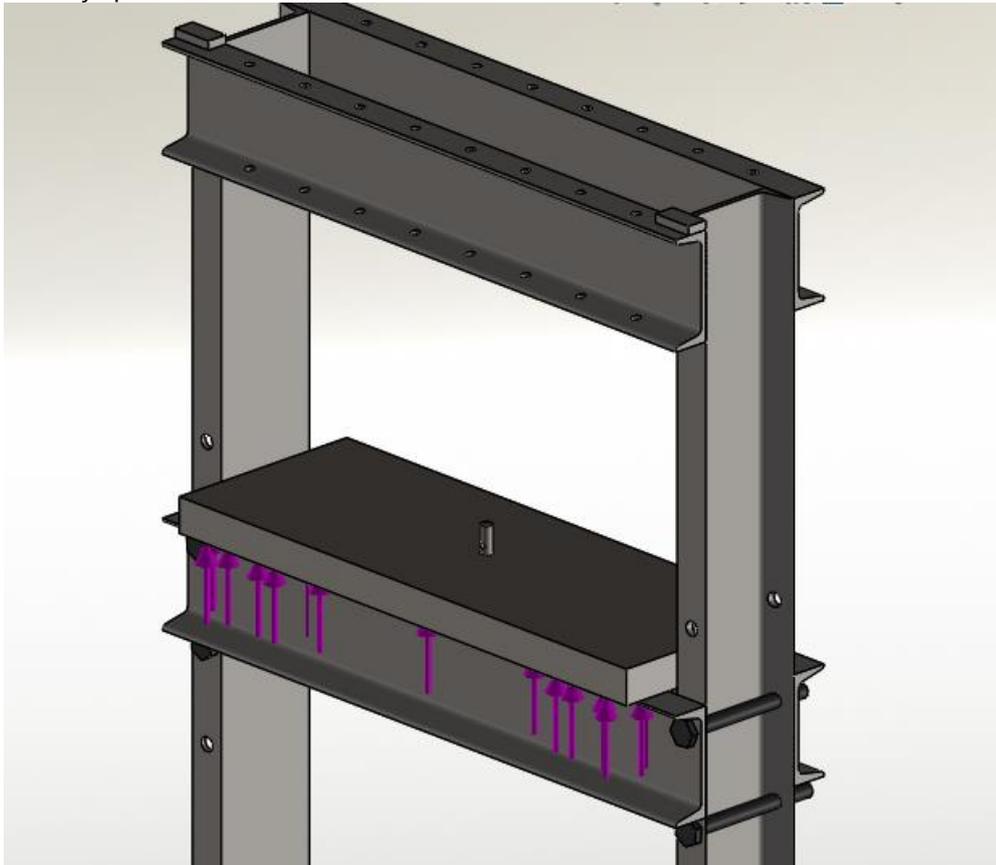
Figura 35 – Força para baixo



**Fonte:** Autor, 2021

Quando o ensaio a ser realizado é o de tração uma força aplicada na mesa central, mas com a direção inversa, ou seja, para cima. A aplicação das forças pode ser observadas na Figura 36.

Figura 36 – Força para cima



**Fonte:** Autor, 2021

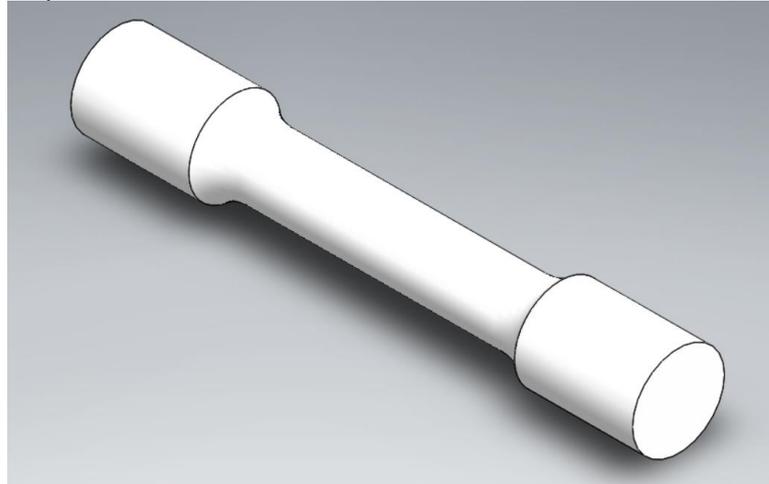
Para os resultados dos estudos estruturais, são apresentados 3 resultados para cada método de força aplicada, sendo elas: tensão, deslocamento e deformação. Vale ressaltar que as imagens obtidas através das análises tem uma escala de distorção de 3021 vezes a distorção real, ou seja, as imagens não representam a distorção real da estrutura, apenas são apresentadas assim para facilitar a visualização. Os resultados das análises estruturais são apresentados no apêndice B.

#### **4.4.3 Dimensionamento dos corpos de prova**

Com base nos estudos de corpos de prova, realizou-se o dimensionamento dos corpos de prova para todos os ensaios, tendo os mesmos como um padrão para todos os testes. Estes corpos de prova apresentam uma parte útil de 50mm de comprimento

e o diâmetro de 12.5 mm, cabeça com um comprimento de 23 mm e com um diâmetro de 18mm e um raio de concordância de 10. Com essas dimensões, apenas o material pode ser alterado, e na Figura 37 é apresentado o desenho do corpo de prova, tendo um material ABS aplicado.

Figura 37 – Corpo de prova



Fonte: Autor, 2021

O desenho técnico do corpo de prova, onde são apresentadas todas as dimensões com um detalhamento mais especificado está apresentado no apêndice C, e com essas dimensões, abre a possibilidade de desenvolver a tabela comparativa de materiais e áreas possíveis de testes.

#### 4.4.4 Materiais e áreas possíveis para testes

Com a auxílio de uma tabela de Propriedades Mecânicas dos Aços, apresentada no Anexo E, desenvolveu-se uma tabela, que apresenta os principais Aços-Carbonos e ligas metálicas, e através das equações básicas de resistência do material, foi possível informar qual a área que cada material pode possuir para realizar um teste na bancada de ensaios. Tendo em vista valores de força retirados através do cilindro hidráulico, quando ocorre o avanço do cilindro é utilizado 18000N e quando há retração o valor é de 16000N.

Para cada ensaio, foi apresentado dois valores de área, sendo uma para ruptura e outro de escoamento. O valor de ruptura necessariamente deve ser maior que o de escoamento, pois quando ocorre o rompimento do corpo de prova o ensaio é encerrado. Na Figura 38, é apresentado todas as informações das medidas de cada teste.

Figura 38 – Áreas possíveis para testes

| Equações  | $\sigma = \frac{F}{A}$   | $\sigma = \frac{F}{A}$ | $\sigma = \frac{F}{A}$     | $\sigma = \frac{F}{A}$  | $W = \frac{M}{\tau}$   | $W = \frac{M}{\tau}$ |
|---|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Forças  | 16000 N                  | 16000 N                | 18000 N                    | 18000 N                 | 18000N                 | 18000N               |
|  Esforços  | Tração -<br>Escoamento   | Tração -<br>Ruptura    | Compressão -<br>Escoamento | Compressão -<br>Ruptura | Flexão -<br>Escoamento | Flexão -<br>Ruptura  |
|  Materiais | Áreas (mm <sup>2</sup> ) |                        |                            |                         |                        |                      |
| AISI 1015   | 57,4                     | 42,8                   | 57,4                       | 42,8                    | 23,0                   | 17,1                 |
| AISI 1020   | 54,4                     | 40,2                   | 54,4                       | 40,2                    | 21,8                   | 16,1                 |
| AISI 1030   | 52,2                     | 32,6                   | 52,2                       | 32,6                    | 20,9                   | 13,1                 |
| AISI 1040   | 43,5                     | 29,0                   | 43,5                       | 29,0                    | 17,4                   | 11,6                 |
| AISI 1050   | 43,5                     | 24,9                   | 43,5                       | 24,9                    | 17,4                   | 9,9                  |
| AISI 1095   | 31,5                     | 18,6                   | 31,5                       | 18,6                    | 12,6                   | 7,5                  |
| AISI 1118   | 56,9                     | 34,5                   | 56,9                       | 34,5                    | 22,7                   | 13,8                 |

Fonte: Autor, 2021

Vale ressaltar que os valores de cada área é dado em mm<sup>2</sup>, ou seja, o tamanho de cada corpo de prova a ser ensaiado vai depender diretamente de seu formato ou perfil, podendo ser cilindro, quadrado, vazado, dependendo das necessidades do usuário.

## CONCLUSÃO

Neste projeto foi apresentado o dimensionamento do sistema hidráulico, além do dimensionamento e projeção da estrutura de uma bancada de ensaio de tração, compressão e flexão com finalidade institucional que objetiva adicionar uma nova possibilidade de estudo para os alunos da FAHOR. Assim, com a utilização de diversas pesquisas bibliográficas, deu-se início a elaboração de um circuito hidráulico, e da estruturação da bancada, sendo possível determinar quais os componentes que seriam utilizados.

A metodologia de projeto de produto de Valdiero e Thesing foi adaptada de acordo com as necessidades do projeto, utilizando métodos como análise das necessidades, projeto preliminar, conceitual e detalhado. Com isso possibilitando um melhor desenvolvimento dos resultados, onde diagramas, cálculos e toda a estruturação foram realizados.

Os principais resultados obtidos estão relacionados com a estrutura da bancada e com o sistema hidráulico, os quais são apresentados em esquema e dimensionamento hidráulico, já a estruturação foi realizada através de desenhos detalhados e das simulações, ambos realizados dentro do software SolidWorks, e buscando ao máximo seguir os requisitos do cliente e do projeto.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o projeto foi satisfatório, atendendo aos objetivos propostos, tendo em vista que a partir dessa estruturação hidráulica e estrutural, será possível desenvolver um protótipo em trabalhos futuros, além de viabilizar a possibilidade de realizar o desenvolvimento de um sistema em arduino, onde os resultados dos testes possam ser computados e analisados futuramente.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIRA, Paulo Samuel. D. **Indústria 4.0 – princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. São Paulo: Saraiva, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 1219-1: **Sistemas e componentes hidráulicos e pneumáticos - Símbolos gráficos e diagramas de circuitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BEER, F. P.; *et. al.* **Mecânica dos materiais**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2021.
- BIOPDI, **Máquina universal de ensaios**. 2021. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/maquina-universal-de-ensaio/>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BOSCH REXROTH. **Coletânea de fórmulas hidráulicas**. 2007. Disponível em: <ftp://mecanica.ufu.br/LIVRE/SCHP/arquivos/f%F3rmulas.pdf>. Acessado em: 06 jun. 2021.
- CIMM. **Ensaios mecânicos**. 2021. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6519](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6519). Acesso em: 15/mai/2021.
- ESCOLA NACIONAL DA INSPEÇÃO DO TRABALHO – ENIT. NR – 12 – **Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. 2019a. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-12.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf). Acesso em: 01 set. 2021.
- ESCOLA NACIONAL DA INSPEÇÃO DO TRABALHO– ENIT. **NR – 17 – Ergonomia**. 2019b. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-17.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-17.pdf) Acesso em: 01 set. 2021.
- FAHOR. **Institucional**. 2021. Disponível em: <https://www.fahor.com.br/institucional>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Érica, 2012.
- GARCIA, A; SPIM, A. A; SANTOS, C. A. **Ensaio dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2017.
- GERDAU. **Perfil I e U Gerdau**. 2021. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/produtos/perfil-u-gerdau>. Acesso em: 8 set. 2021.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. **Projeto de componentes de maquinas**. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2006.
- KLEIN AUTOMAÇÃO, **Cilindros hidráulicos**. 2021. Disponível em: <http://www.kleinautomacao.com.br/arquivo/30-cilindros-hidraulicos.pdf>. Acessado em: 10 ago. 2021.

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

MENDES, C. L.; SILVEIRA, A. M. **Ensaio mecânicos**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

METALBO. **Parafuso sextavado grau 5**. 2021. Disponível em: <http://metalbo.com.br/catalogo/tabela.pdf>. Acesso em: 8 set. 2021.

MONK, S. **Programação com Arduino**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

OLIVEIRA, C. L. V.; ZANETTI, H. A. P. **Arduino descomplicado**: como elaborar projetos de eletrônica. São Paulo: Érica, 2015.

RABIE, M. Galal. **Fluid power engineering**. New York: McGraw-Hill, 2009.

RACINE. **Manual de hidráulica básica**. 3. ed. Porto Alegre, 1981.

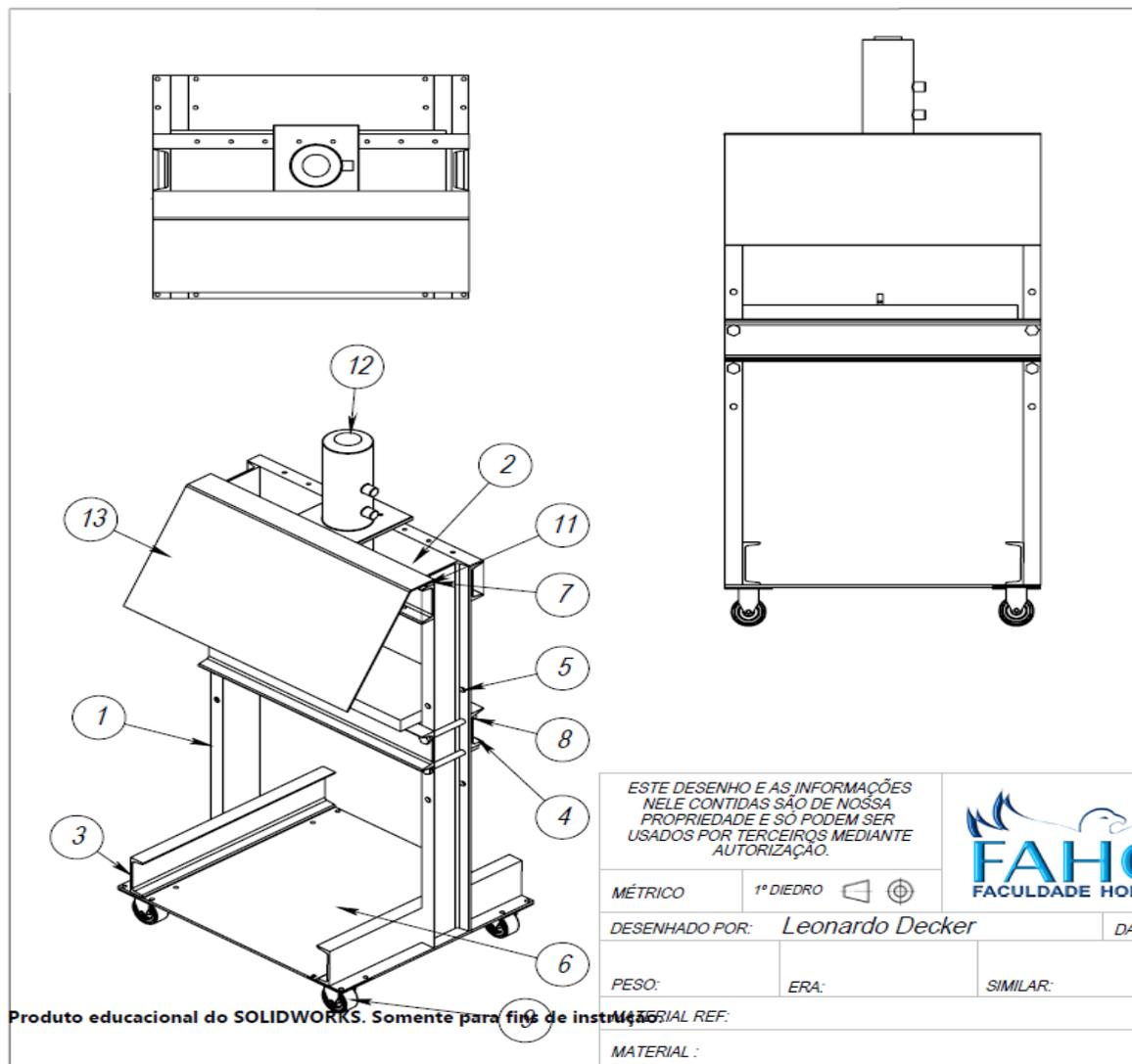
SCHWAB, K. **Aplicando a quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2018.

SULLIVAN, J. A. **Fluid Power System: theory and applications**. New Jersey: Englewood Cliffs, 1989.

VALDIERO, Antonio Carlos. THESING, Nelson José. **Desafios em Engenharia Industrial**. Editora Unijui, 2016.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida**. São Paulo: Blucher, 2007.

## APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DA ESTRUTURA DA BANCADA DE ENSAIOS



| Nº DO ITEM | Nº DA PEÇA             | QTD. |
|------------|------------------------|------|
| 1          | PERFIL C 1600          | 2    |
| 2          | PERFIL C 930 Superior  | 2    |
| 3          | PERFIL C base inferior | 2    |
| 4          | PERFIL C 930           | 2    |
| 5          | Mesa                   | 1    |
| 6          | Base_Inferior          | 1    |
| 7          | suporte dobradiça      | 2    |
| 8          | Trava de elevação      | 4    |
| 9          | Rodas                  | 4    |
| 10         | Ligação Central        | 2    |
| 11         | Dobradiça              | 2    |
| 12         | Cilindro               | 1    |
| 13         | Proteção mecânica      | 1    |

ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.


**FAHOR**  
 FACULDADE HORIZONTAL

MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker* DATA:

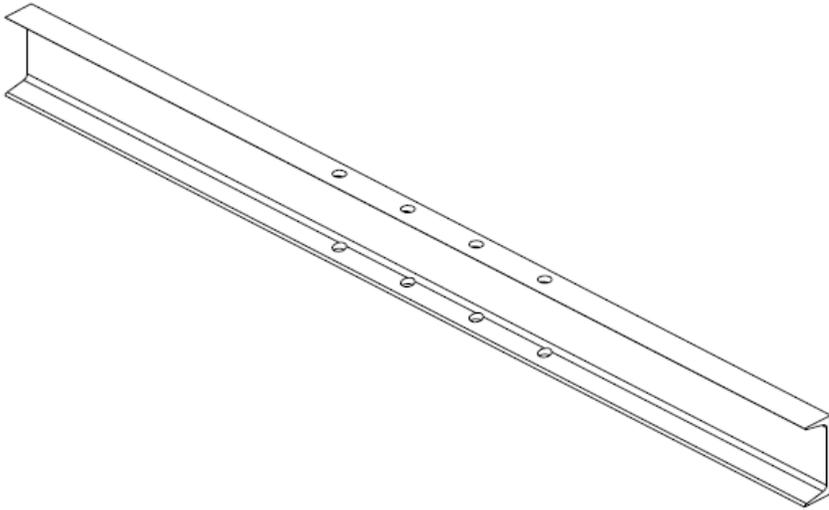
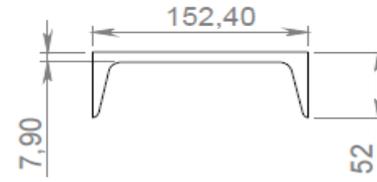
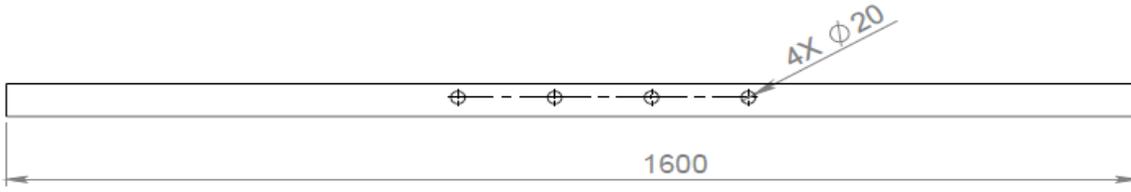
PESO: ERA: SIMILAR:

MATERIAL:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO                            | POR      | APROV.    |
|----|------|------|--------------------------------------|----------|-----------|
|    |      |      | DENOMINAÇÃO: <i>Montagem Bancada</i> |          |           |
|    |      |      | CÓDIGO:                              |          | <b>A4</b> |
|    |      |      | ESCALA: <i>1:20</i>                  | REVISÃO: | VERSÃO:   |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |           |                       |         |
|-------------------------------|-----------|-----------------------|---------|
| Até 6mm                       | +/- 0,1mm | acima de 125 até 400  | +/- 0,5 |
| acima de 6 até 30             | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 | +/- 0,8 |
| acima de 30 até 120           | +/- 0,3   | acima de 1000         | +/- 1,2 |
| Dimensões Angulares +/- 1°    |           |                       |         |

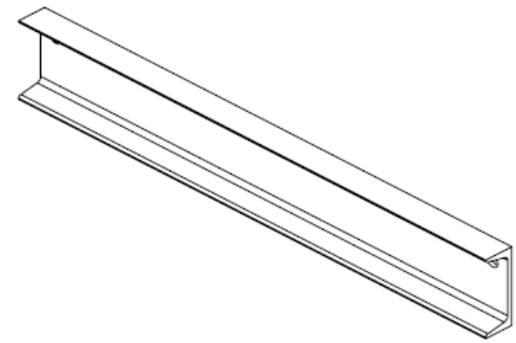
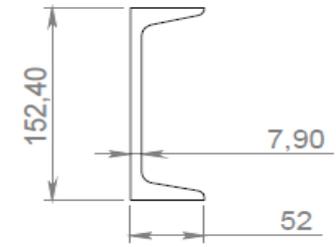
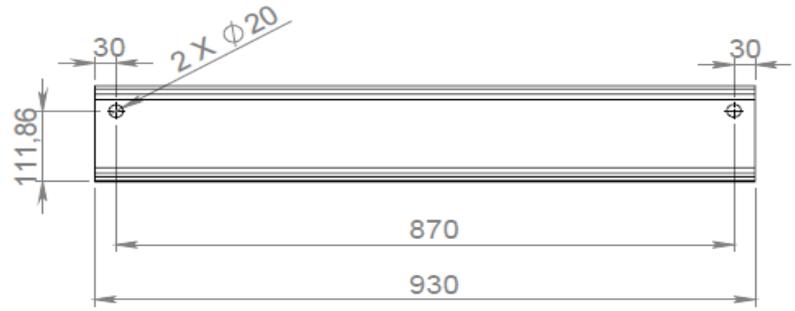


|   |           |               |  |                                   |      |      |           |                  |        |         |
|---|-----------|---------------|--|-----------------------------------|------|------|-----------|------------------|--------|---------|
| <p>ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SO PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.</p> |           |               |  |                                   |      |      |           |                  |        |         |
| MÉTRICO   | 1º DIEDRO |               |  | CA                                | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR              | APROV. |         |
| DESENHADO POR: <b>Leonardo Decker</b>   | DATA:     |               |  | DENOMINAÇÃO: <b>Perfil U 1600</b> |      |      |           |                  |        |         |
| PESO:   | ERA:      | SIMILAR:      |  | CÓDIGO:                           |      |      |           |                  |        |         |
| MATERIAL: <b>Aço AISI 1020</b>  |           | MATERIAL REF: |  | ESCALA: <b>1:10</b>               |      |      |           | REVISÃO:         |        | VERSÃO: |
|   |           |               |  |                                   |      |      |           | FOLHA: <b>A4</b> |        |         |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |                    |                       |           |
|-------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| Unidade<br>Líneas             | Até 6mm             | $\pm 0,1\text{mm}$ | acima de 120 até 400  | $\pm 0,5$ |
|                               | acima de 6 até 30   | $\pm 0,2$          | acima de 400 até 1000 | $\pm 0,8$ |
|                               | acima de 30 até 120 | $\pm 0,3$          | acima de 1000         | $\pm 1,2$ |

Dimensões Angulares -  $\pm 1^\circ$



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: **Leonardo Decker**

DATA:

PESO:

ERA:

SIMILAR:

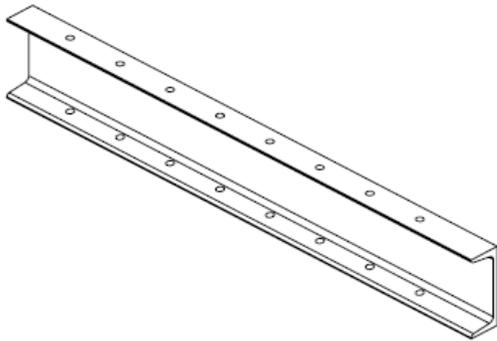
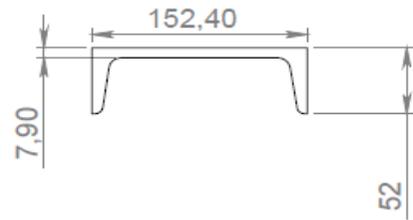
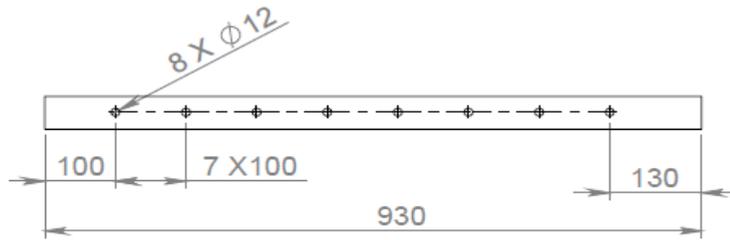
MATERIAL REF:

MATERIAL: **Aço AISI 1020**

| CA                  | REV. | DATA | DESCRIÇÃO           | POR     | APROV. |
|---------------------|------|------|---------------------|---------|--------|
|                     |      |      |                     |         |        |
| DENOMINAÇÃO:        |      |      | <b>Perfil U 930</b> |         |        |
| CÓDIGO:             |      |      | <b>A4</b>           |         |        |
| ESCALA: <b>1:10</b> |      |      | REVISÃO:            | VERSÃO: |        |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                            |           |                       |         |
|-------------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|---------|
| Tolerância                    | Até 5mm                    | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400  | +/- 0,5 |
|                               | acima de 5 até 30          | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 | +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120        | +/- 0,3   | acima de 1000         | +/- 1,2 |
|                               | Dimensões Angulares - J-1º |           |                       |         |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: **Leonardo Decker**

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO: ERA: SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: **Perfil U 930 Superior**

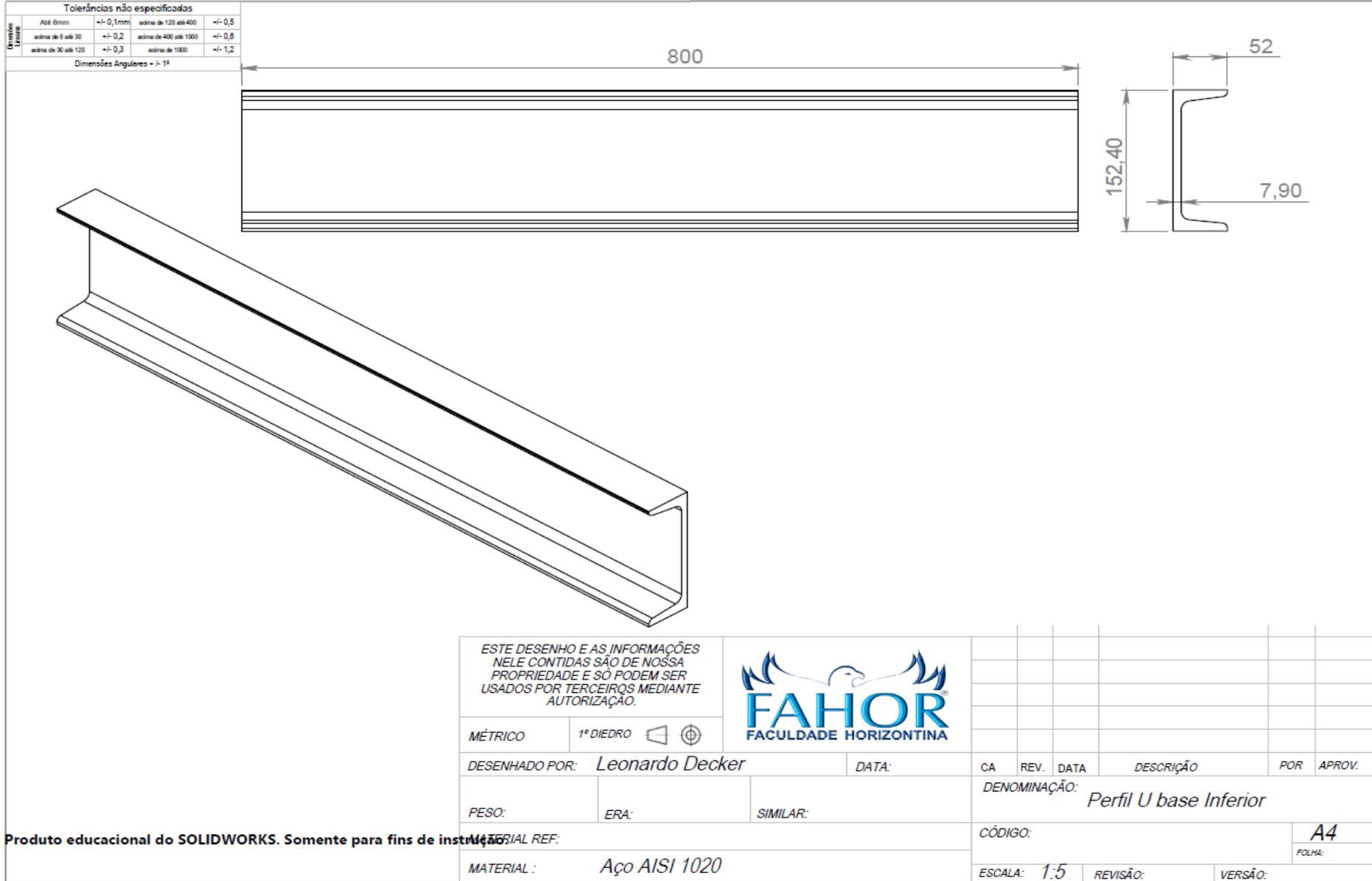
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

MATERIAL REF:

CÓDIGO: **A4**  
FOLHA:

MATERIAL: **Aço AISI 1020**

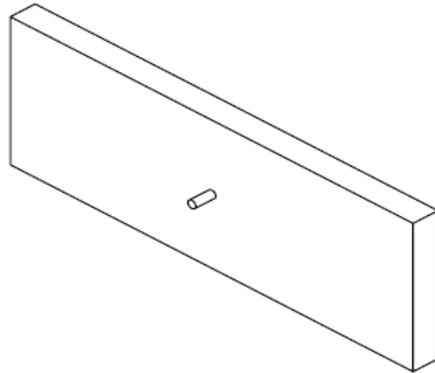
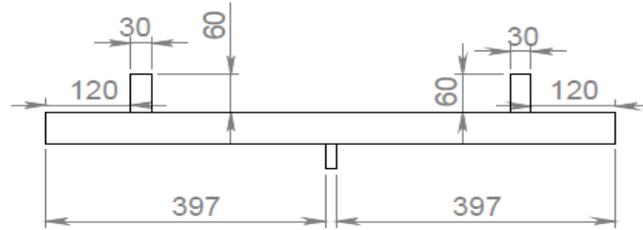
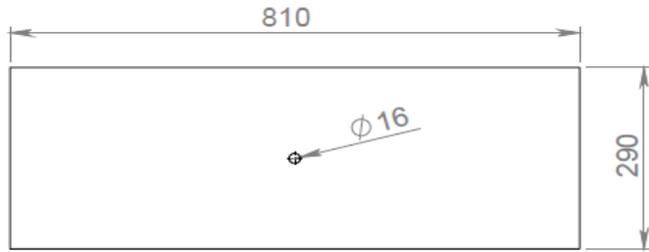
ESCALA: **1:10** REVISÃO: VERSÃO:



|   |           |      |  |                    |  |  |      |         |           |        |        |
|---|-----------|------|--|--------------------|--|--|------|---------|-----------|--------|--------|
| <p>ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.</p> |           |      |  |                    |  |  |      |         |           |        |        |
| MÉTRICO   | 1° DIEDRO |      |  |                    |  |  |      |         |           |        |        |
| DESENHADO POR: <i>Leonardo Decker</i>   |           |      |  | DATA:              |  | CA   | REV. | DATA    | DESCRIÇÃO | POR    | APROV. |
| PESO:   |           | ERA: |  | SIMILAR:           |  | DENOMINAÇÃO: <i>Perfil U base Inferior</i> |      |         |           |        |        |
| MATERIAL REF:   |           |      |  | CÓDIGO:            |  |  |      | A4      |           | FOLHA: |        |
| MATERIAL: <i>Aço AISI 1020</i>  |           |      |  | ESCALA: <i>1:5</i> |  | REVISÃO:                                   |      | VERSÃO: |           |        |        |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                               |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| Dimensões Lineares            | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400 +/- 0,5  |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000 +/- 1,2         |
| Dimensões Angulares +/- 1°    |                     |           |                               |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO: ERA: SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: *Mesa Central*

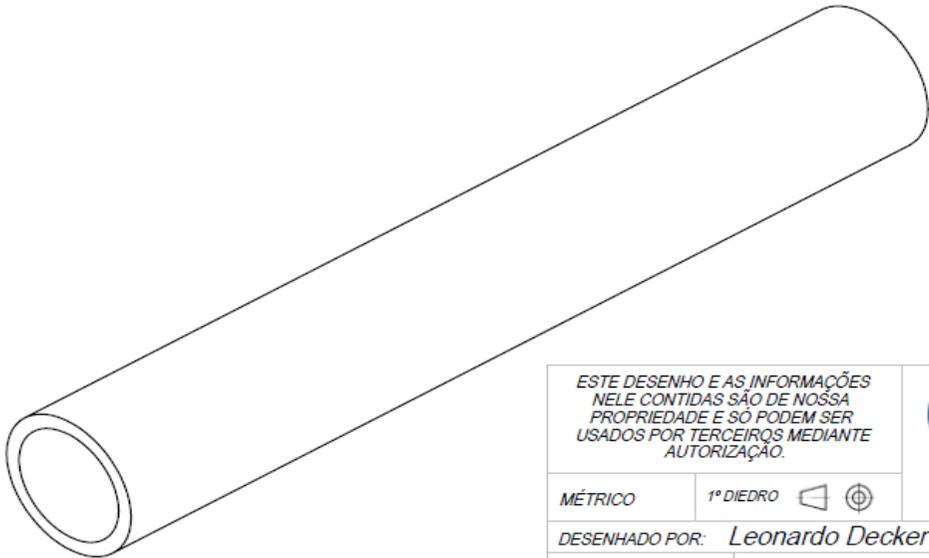
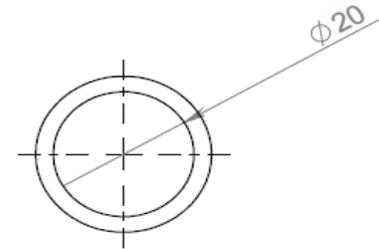
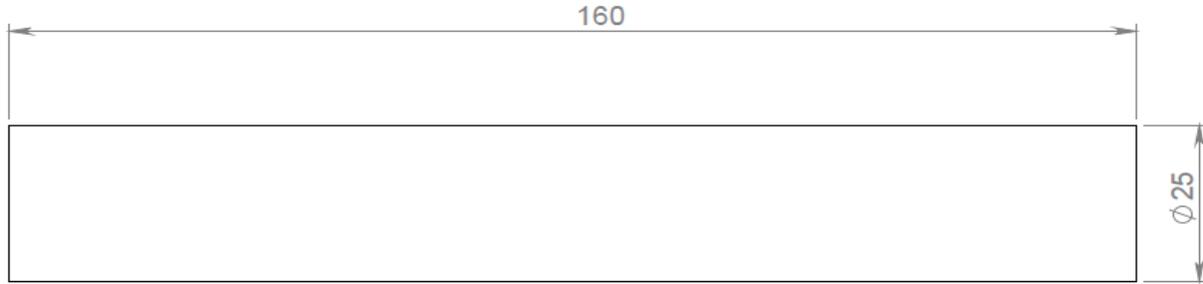
CÓDIGO: *A4*

ESCALA: *1:10* REVISÃO: VERSÃO:

MATERIAL: *Aço AISI 1020*

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                               |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| Diversos<br>Trazendo          | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400 +/- 0,5  |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000 +/- 1,2         |
| Dimensões Angulares +/- 1°    |                     |           |                               |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

PESO:

ERA:

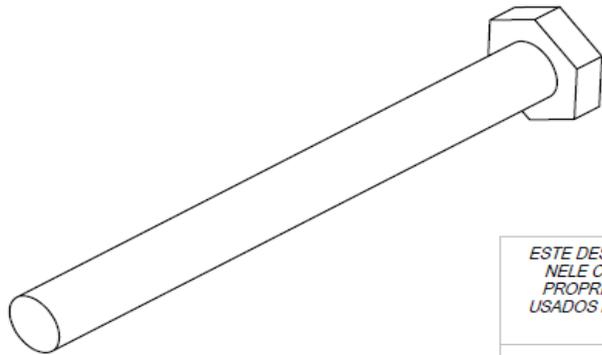
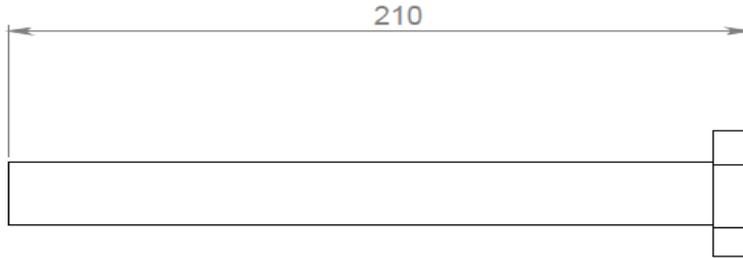
SIMILAR:

MATERIAL REF:

MATERIAL: *Aço AISI 1020*

| CA                 | REV. | DATA | DESCRIÇÃO              | POR       | APROV. |
|--------------------|------|------|------------------------|-----------|--------|
|                    |      |      |                        |           |        |
| DENOMINAÇÃO:       |      |      | <i>Ligação Central</i> |           |        |
| CÓDIGO:            |      |      |                        | <b>A4</b> |        |
| ESCALA: <i>1:1</i> |      |      |                        | REVISÃO:  |        |
|                    |      |      |                        | VERSÃO:   |        |

| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                               |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| Dimensões Lineares            | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400 +/- 0,5  |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000 +/- 1,2         |
| Dimensões Angulares +/- 1°    |                     |           |                               |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: Leonardo Decker

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO: ERA: SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: Trava de Elevação

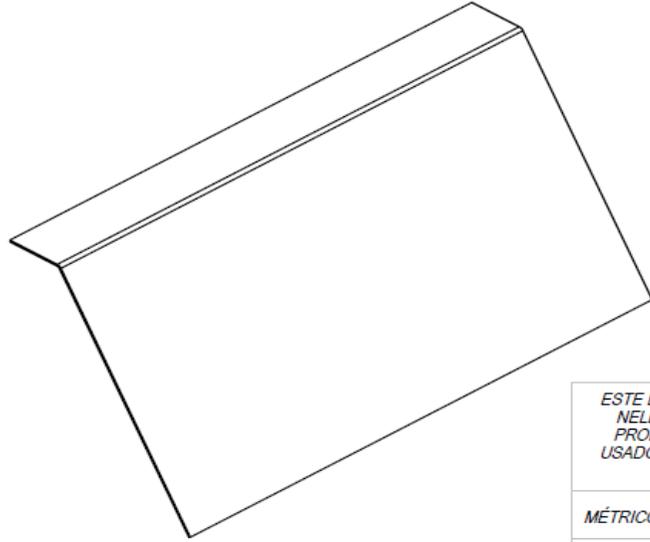
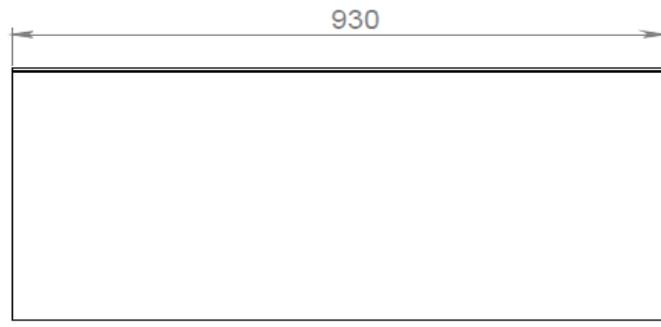
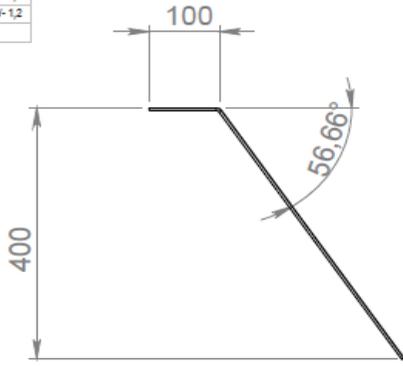
CÓDIGO: A4

ESCALA: 1:2 REVISÃO: VERSÃO:

MATERIAL: Aço AISI 1020

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |        |      |
|-------------------------------|---------------------|--------|------|
| Dimensões Lineares            | Até 6mm             | ±0,1mm | ±0,5 |
|                               | acima de 6 até 30   | ±0,2   | ±0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | ±0,3   | ±1,2 |
| Dimensões Angulares ± 1°      |                     |        |      |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

PESO:

ERA:

SIMILAR:

MATERIAL REF:

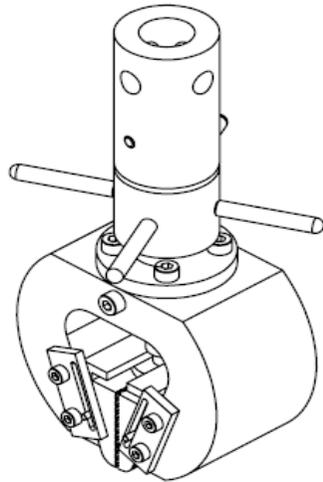
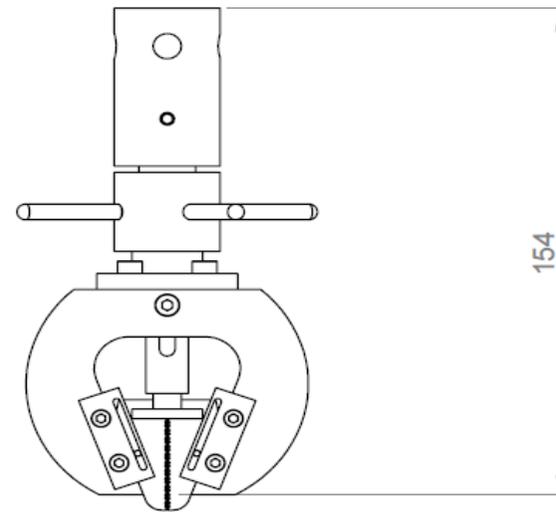
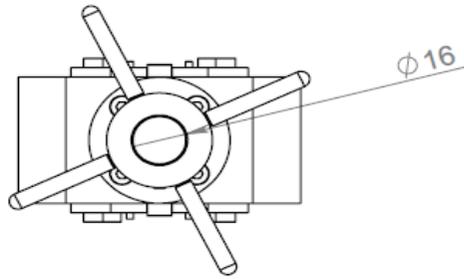
MATERIAL: *Acrílico*

| CA                  | REV. | DATA | DESCRIÇÃO                | POR     | APROV. |
|---------------------|------|------|--------------------------|---------|--------|
|                     |      |      |                          |         |        |
| DENOMINAÇÃO:        |      |      | <i>Proteção Mecânica</i> |         |        |
| CÓDIGO:             |      |      |                          |         |        |
| ESCALA: <i>1:10</i> |      |      | REVISÃO:                 | VERSÃO: |        |
|                     |      |      | A4<br>FOLHA:             |         |        |

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                               |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| Tamanho                       | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400 +/- 0,5  |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000 +/- 1,2         |

Dimensões Angulares = J-1º



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO:

ERA:

SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: *Garra para Tração*

CÓDIGO:

**A4**

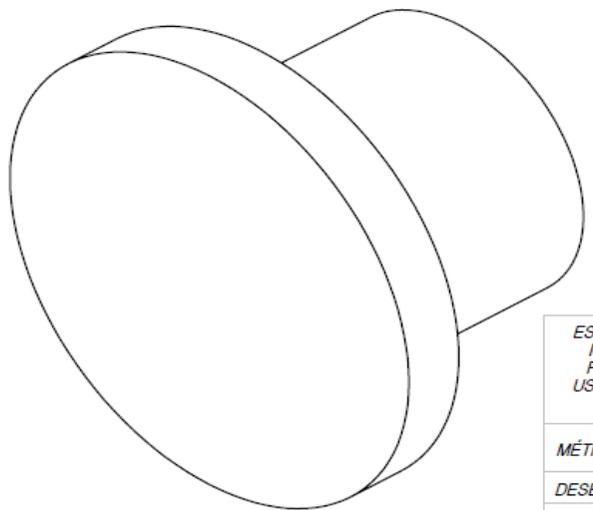
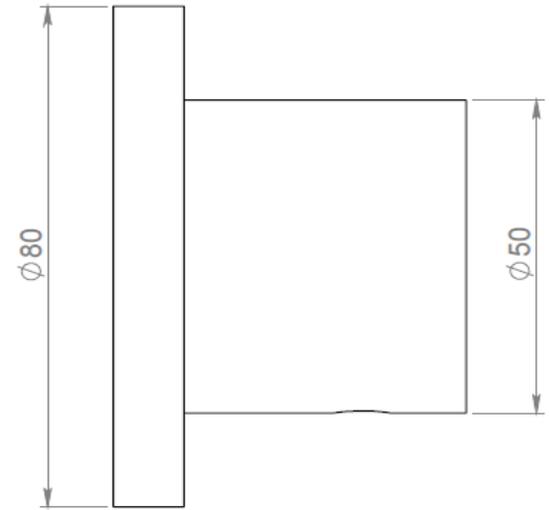
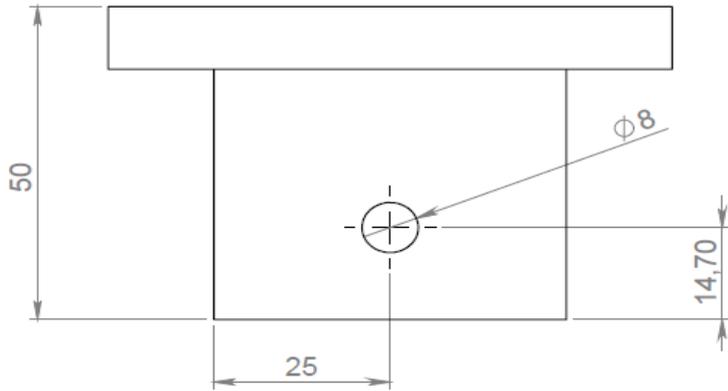
FOLHA:

MATERIAL:

ESCALA: *1:2* REVISÃO: VERSÃO:

| Tolerâncias não especificadas |           |                       |         |
|-------------------------------|-----------|-----------------------|---------|
| Até 6mm                       | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400  | +/- 0,5 |
| acima de 6 até 30             | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 | +/- 0,8 |
| acima de 30 até 120           | +/- 0,3   | acima de 1000         | +/- 1,2 |

Dimensões Angulares +/- 1°



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1° DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO: ERA: SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: *Compressão*

CÓDIGO: *A4*

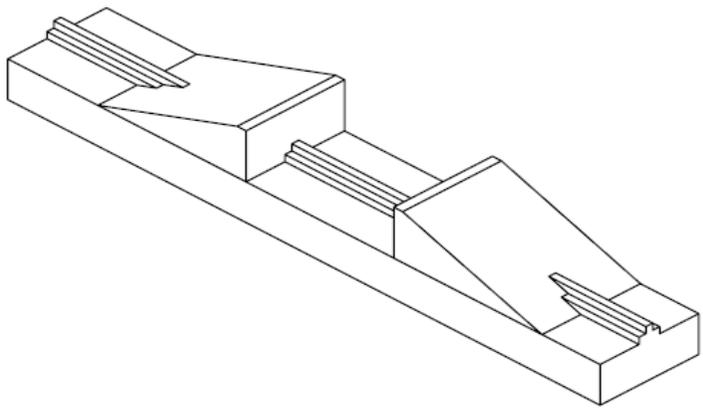
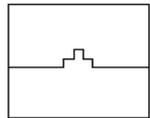
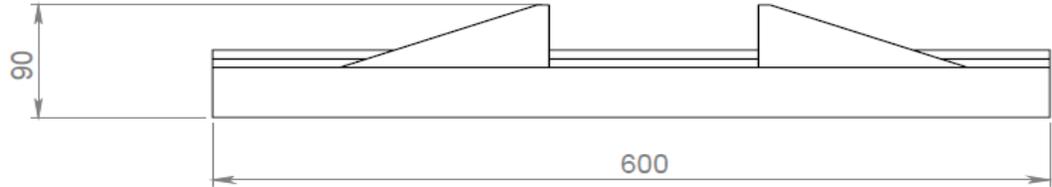
ESCALA: *1:1* REVISÃO: VERSÃO:

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

MATERIAL REF.: *Aço AISI 1020*

| Tolerâncias não especificadas |                     |           |                               |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| Tolerâncias Lineares          | Até 6mm             | +/- 0,1mm | acima de 120 até 400 +/- 0,5  |
|                               | acima de 6 até 30   | +/- 0,2   | acima de 400 até 1000 +/- 0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | +/- 0,3   | acima de 1000 +/- 1,2         |

Dimensões Angulares +/- 1°



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO:

ERA:

SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: *Montagem Flexão*

CÓDIGO:

**A4**

FOLHA:

MATERIAL :

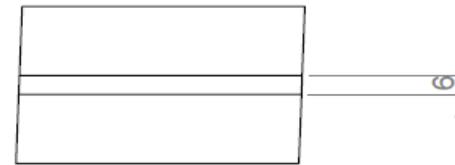
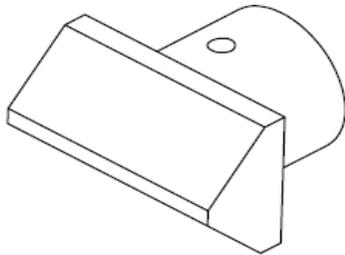
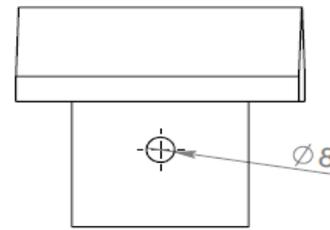
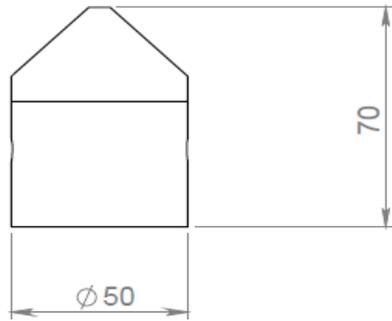
ESCALA:

REVISÃO:

VERSÃO:

Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

| Tolerâncias não especificadas |                     |        |                       |      |
|-------------------------------|---------------------|--------|-----------------------|------|
| Dimensões Lineares            | Até 6mm             | ±0,1mm | acima de 120 até 400  | ±0,5 |
|                               | acima de 6 até 30   | ±0,2   | acima de 400 até 1000 | ±0,8 |
|                               | acima de 30 até 120 | ±0,3   | acima de 1000         | ±1,2 |
| Dimensões Angulares ± 1°      |                     |        |                       |      |



ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.



MÉTRICO 1º DIEDRO

DESENHADO POR: *Leonardo Decker*

DATA:

| CA | REV. | DATA | DESCRIÇÃO | POR | APROV. |
|----|------|------|-----------|-----|--------|
|    |      |      |           |     |        |

PESO:

ERA:

SIMILAR:

DENOMINAÇÃO: *Lança Flexão*

CÓDIGO:

*A4*

FOLHA:

MATERIAL:

ESCALA: *1:2*

REVISÃO:

VERSÃO:



## APÊNDICE A – DESENHO DETALHADOS CORPO DE PROVA

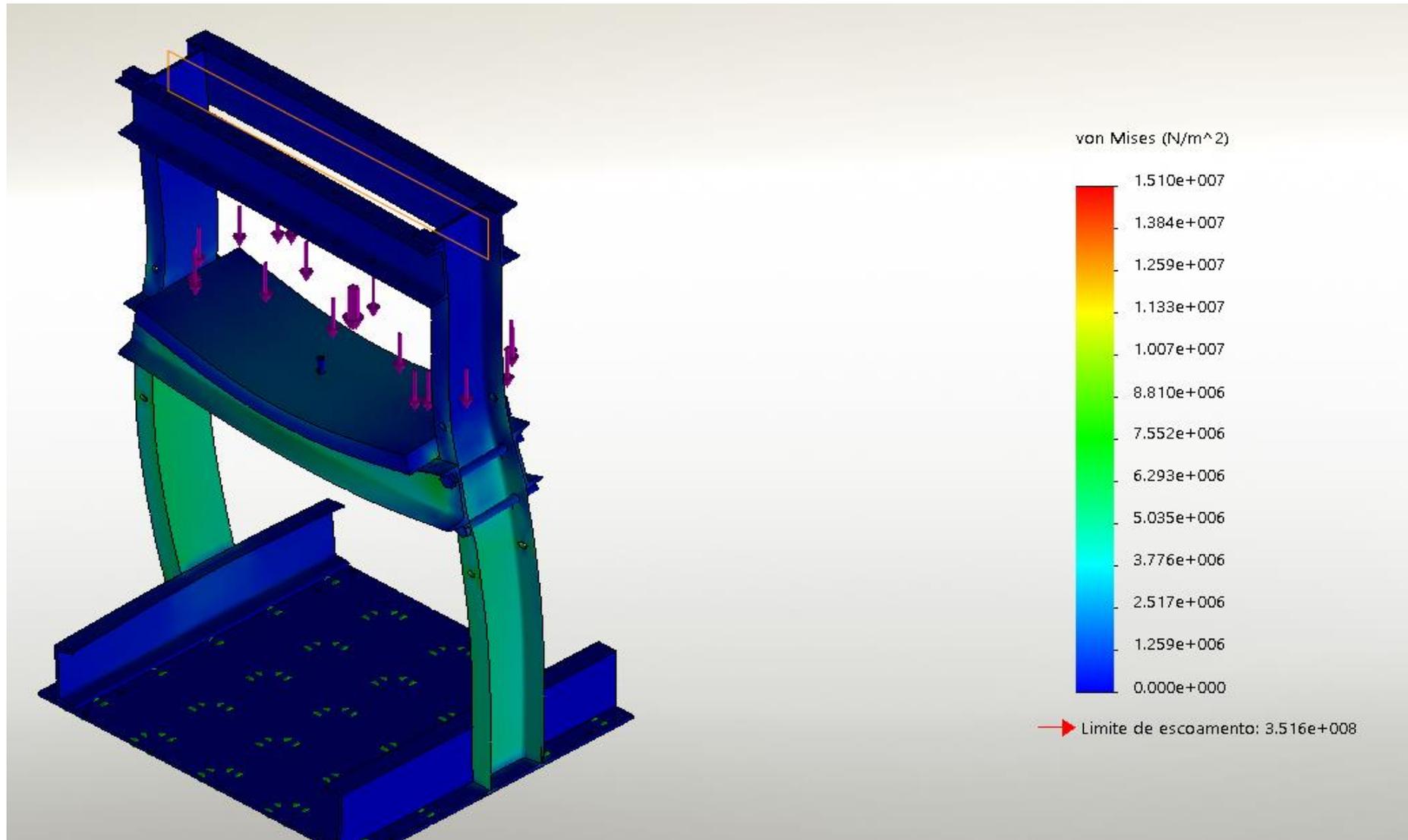
| Tolerâncias não especificadas |                     |        |                       |
|-------------------------------|---------------------|--------|-----------------------|
| Dimensões Lineares            | Até 6mm             | ±0,1mm | acima de 120 até 400  |
|                               | acima de 6 até 30   | ±0,2   | acima de 400 até 1000 |
|                               | acima de 30 até 120 | ±0,3   | acima de 1000         |
| Dimensões Angulares ± 1°      |                     |        |                       |

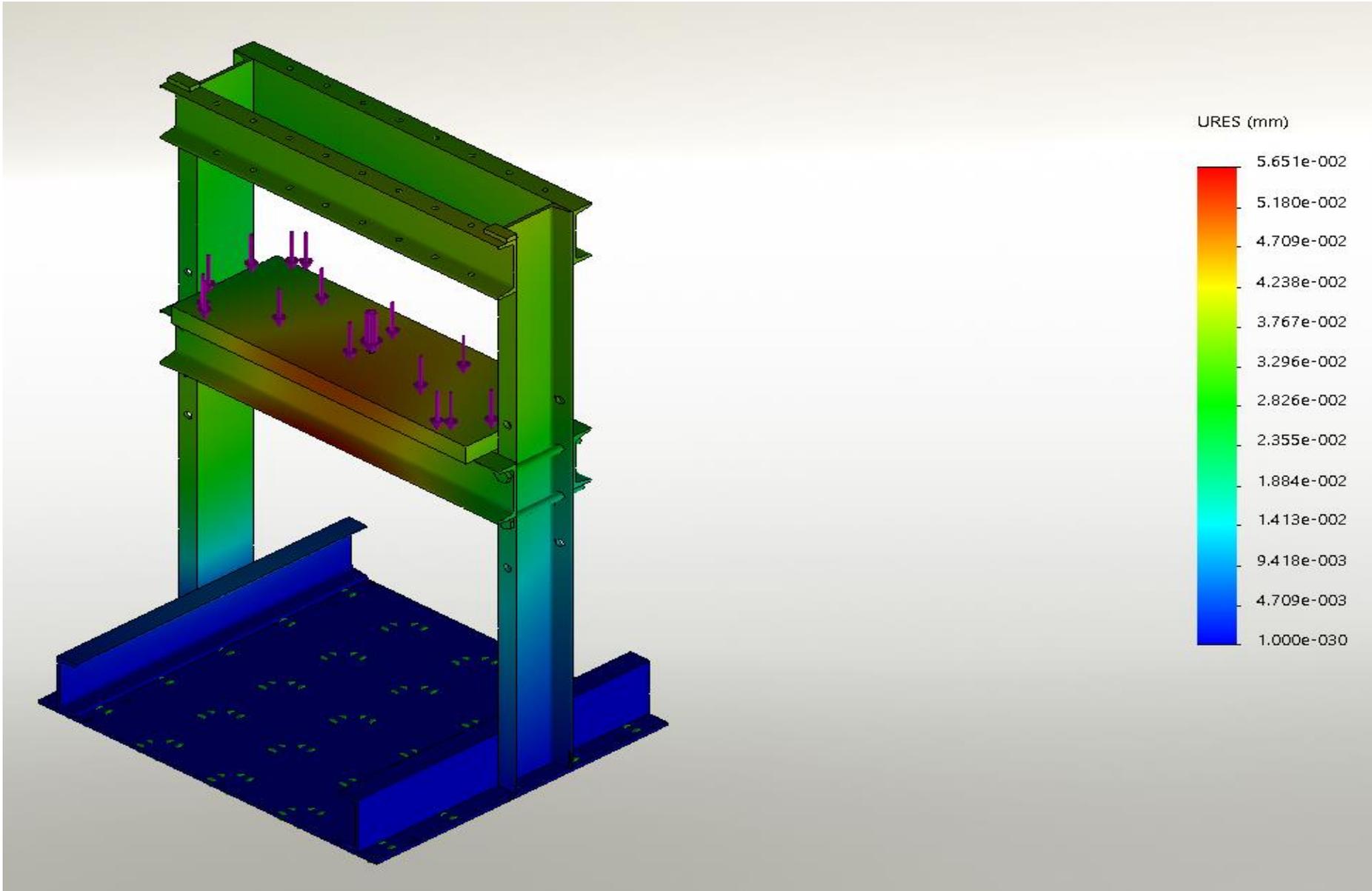
  
  

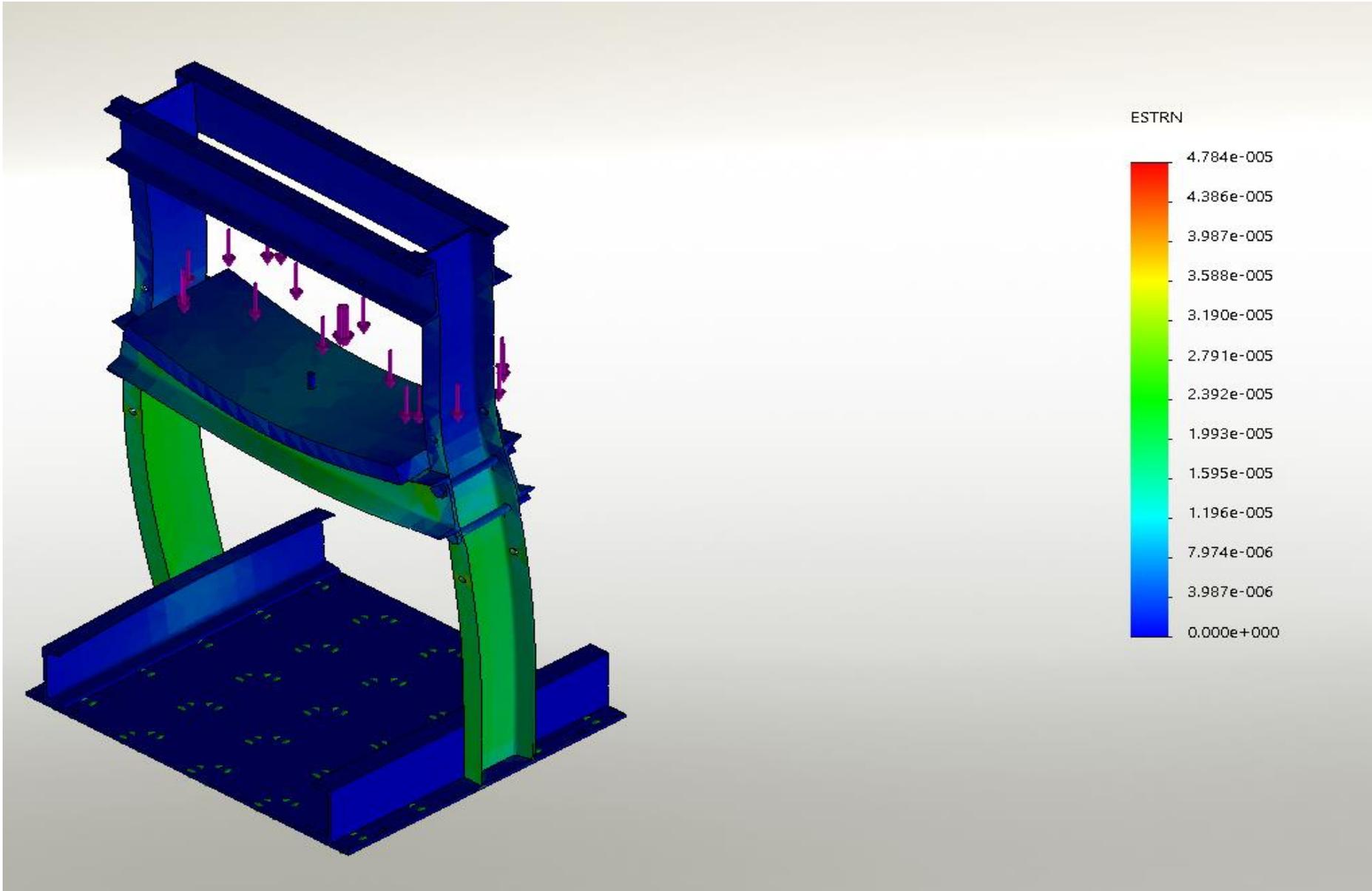
|  |           |   |         |
|--|-----------|---|---------|
| ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO. |           | <br><b>FAHOR</b><br>FACULDADE HORIZONTAL  |         |
| MÉTRICO  | 1º DIEDRO |   |         |
| DESENHADO POR: <i>Leonardo Decker</i>  |           | DATA:   |         |
| PESO:  | ERA:      | SIMILAR:  |         |
| MATERIAL REF:  |           | DENOMINAÇÃO: <i>Corpo de Prova</i>  |         |
| MATERIAL: <i>ABS</i>   |           | CÓDIGO: <span style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;"><b>A4</b></span> |         |
| ESCALA: <i>1:2</i>   |           | REVISÃO:  | VERSÃO: |

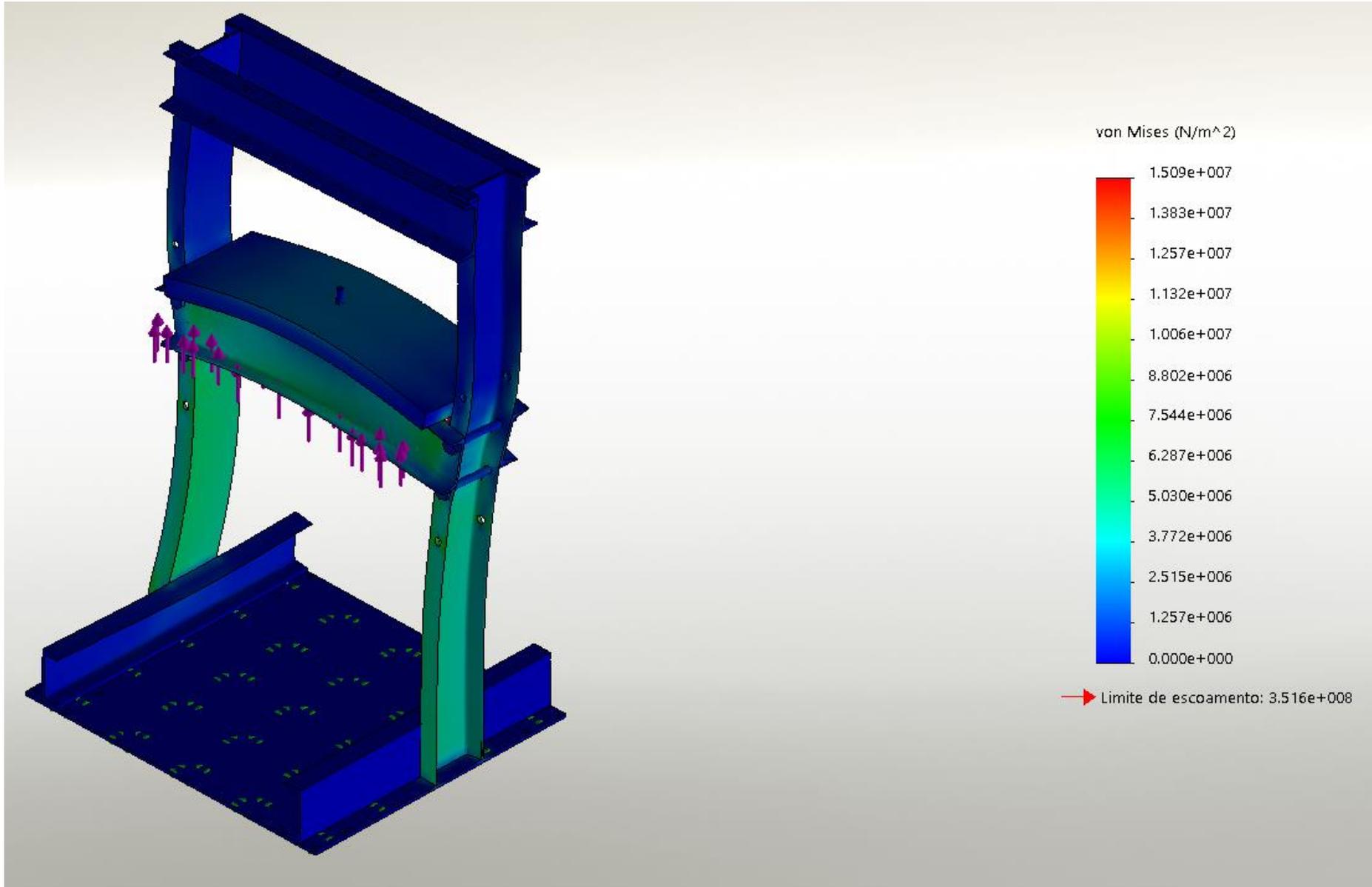
Produto educacional do SOLIDWORKS. Somente para fins de instrução.

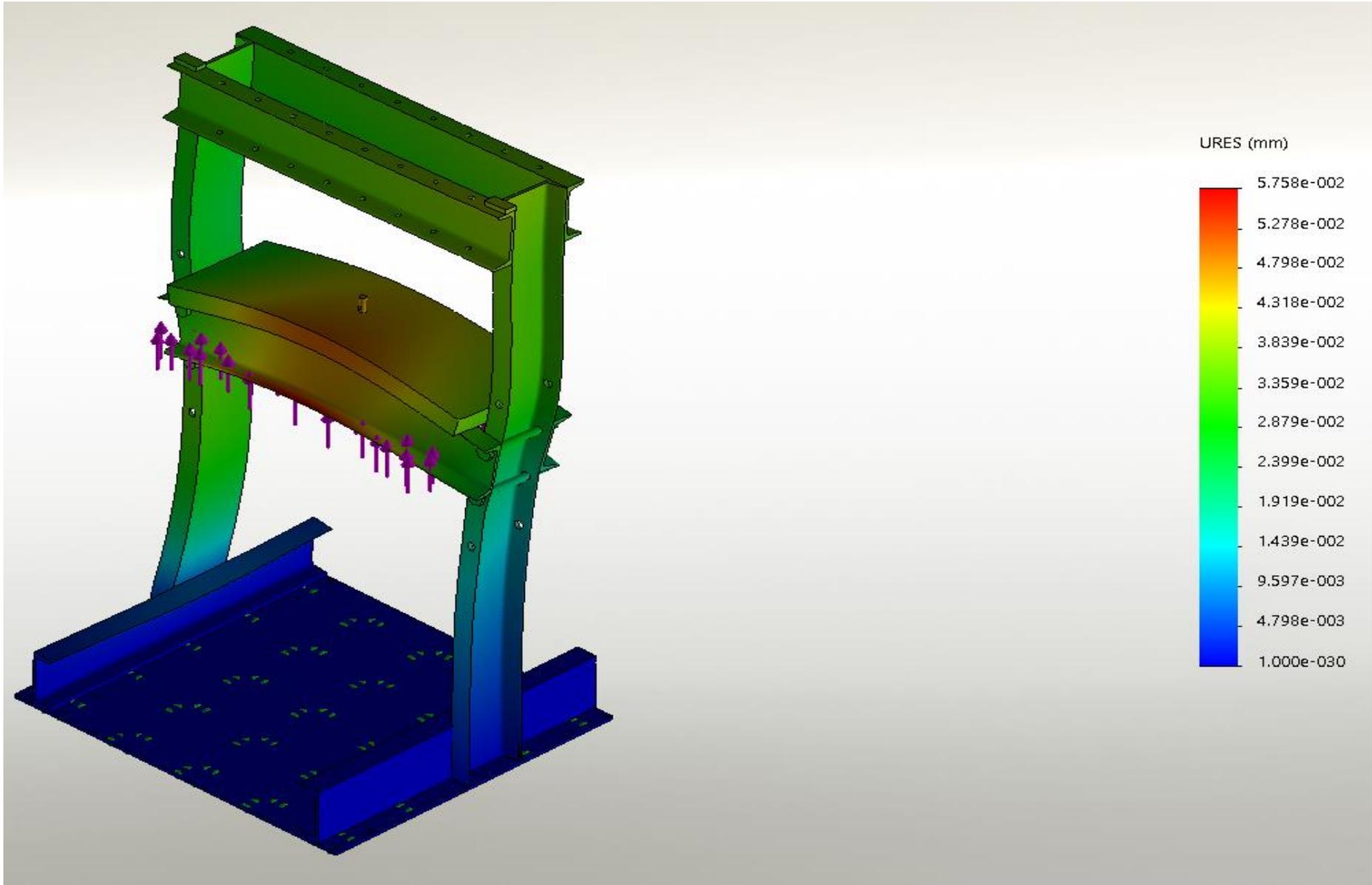
## APÊNDICE B – ANALISES ESTRUTURAIS DA BANCADA

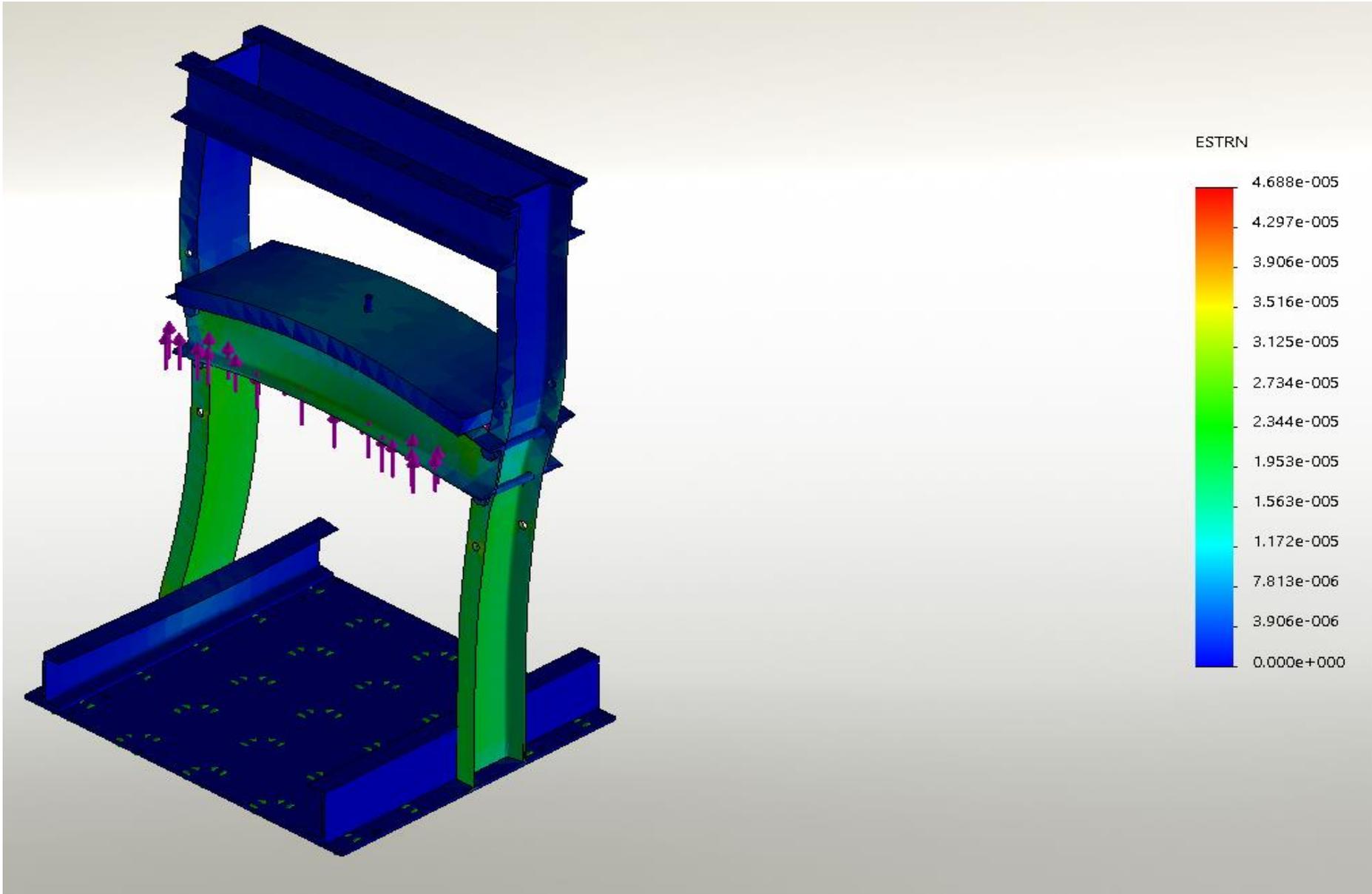












## ANEXO A – CATÁLOGO CILINDRO HIDRÁULICO

| Ø<br>CILINDRO | Ø<br>Haste<br>mm | Área (cm <sup>2</sup> ) |        |        | Relação<br>Área total<br>Área coroa | Força (kg) |          |        |          |         |          |         |          |         |          |         |          |
|---------------|------------------|-------------------------|--------|--------|-------------------------------------|------------|----------|--------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|               |                  | Total                   | Coroa  | Haste  |                                     | 35 ATM     |          | 70 ATM |          | 105 ATM |          | 140 ATM |          | 175 ATM |          | 210 ATM |          |
|               |                  |                         |        |        |                                     | Avanço     | Retração | Avanço | Retração | Avanço  | Retração | Avanço  | Retração | Avanço  | Retração | Avanço  | Retração |
| 1.1/2 "       | HN 1/2"          | 11,40                   | 10,13  | 1,27   | 1,13/1,0                            | 399        | 354      | 798    | 709      | 1197    | 1063     | 1596    | 1418     | 1995    | 1772     | 2394    | 2127     |
|               | HI 5/8 "         |                         | 9,42   | 1,98   | 1,21/1,0                            |            | 329      |        | 659      |         | 989      |         | 1318     |         | 1648     |         | 1978     |
| 2 "           | HN 1"            | 20,27                   | 15,20  | 5,07   | 1,33/1,0                            | 709        | 532      | 1418   | 1064     | 2128    | 1596     | 2837    | 2128     | 3547    | 2660     | 4256    | 3192     |
|               | HP 1.1/4"        |                         | 12,35  | 7,92   | 1,64/1,0                            |            | 432      |        | 864      |         | 1296     |         | 1729     |         | 2161     |         | 2593     |
| 2.1/2 "       | HN 1"            | 31,67                   | 26,40  | 5,07   | 1,19/1,0                            | 1108       | 931      | 2216   | 1862     | 3325    | 2793     | 4433    | 3724     | 5542    | 4655     | 6650    | 5586     |
|               | HI 1.3/8"        |                         | 22,09  | 9,58   | 1,43/1,0                            |            | 773      |        | 1546     |         | 2319     |         | 3092     |         | 3865     |         | 4638     |
|               | HP 1.3/4"        |                         | 16,15  | 15,52  | 1,96/1,0                            |            | 565      |        | 1130     |         | 1695     |         | 2261     |         | 2826     |         | 3391     |
| 3.1/4 "       | HN 1.3/8"        | 53,52                   | 43,94  | 9,58   | 1,22/1,0                            | 1873       | 1537     | 3746   | 3075     | 5619    | 4613     | 7492    | 6151     | 9366    | 7689     | 11239   | 9227     |
|               | HI 1.3/4"        |                         | 38,00  | 15,52  | 1,41/1,0                            |            | 1330     |        | 2660     |         | 3990     |         | 5320     |         | 6650     |         | 7980     |
|               | HP 2"            |                         | 33,25  | 20,27  | 1,61/1,0                            |            | 1163     |        | 2327     |         | 3491     |         | 4655     |         | 5818     |         | 6982     |
| 4 "           | HN 1.3/4"        | 81,07                   | 65,55  | 15,52  | 1,24/1,0                            | 2837       | 2294     | 5674   | 4588     | 8512    | 6882     | 11349   | 9177     | 14187   | 11471    | 17024   | 13765    |
|               | HI 2"            |                         | 60,80  | 20,27  | 1,33/1,0                            |            | 2128     |        | 4256     |         | 6384     |         | 8512     |         | 10640    |         | 12768    |
|               | HP 2.1/2"        |                         | 49,40  | 31,67  | 1,64/1,0                            |            | 1729     |        | 3458     |         | 5187     |         | 6916     |         | 8645     |         | 10374    |
| 5 "           | HN 2.1/2"        | 126,68                  | 95,01  | 31,67  | 1,33/1,0                            | 4433       | 3325     | 8867   | 6650     | 13301   | 9976     | 17735   | 13301    | 22169   | 16626    | 26602   | 19952    |
|               | HP 3.1/2"        |                         | 64,61  | 62,07  | 1,96/1,0                            |            | 2261     |        | 4522     |         | 6784     |         | 9045     |         | 11306    |         | 13568    |
| 6 "           | HN 2.1/2"        | 182,42                  | 150,75 | 31,67  | 1,21/1,0                            | 6384       | 5276     | 12769  | 10552    | 19154   | 15828    | 25538   | 21105    | 31923   | 26381    | 38308   | 31657    |
|               | HI 3.1/2"        |                         | 120,35 | 62,07  | 1,52/1,0                            |            | 4212     |        | 8424     |         | 12636    |         | 16849    |         | 21061    |         | 25273    |
|               | HP 4"            |                         | 101,35 | 81,07  | 1,80/1,0                            |            | 3547     |        | 7094     |         | 10641    |         | 14189    |         | 17736    |         | 21283    |
| 8 "           | HN 3.1/2"        | 324,29                  | 262,22 | 62,07  | 1,24/1,0                            | 11350      | 9177     | 22700  | 18335    | 34050   | 27533    | 45400   | 36710    | 56750   | 45888    | 68100   | 55066    |
|               | HI 4.1/2"        |                         | 221,68 | 102,61 | 1,46/1,0                            |            | 7758     |        | 15517    |         | 23276    |         | 31035    |         | 38794    |         | 46552    |
|               | HP 5.1/2"        |                         | 171,01 | 153,28 | 1,90/1,0                            |            | 5985     |        | 11970    |         | 17956    |         | 23941    |         | 29926    |         | 35912    |

Fonte: Klein, 2021

## ANEXO B – CATÁLOGO PARAFUSOS PARA A BANCADA

| PARAFUSO SEXTAVADO GRAU 5          |          |       |          |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
|------------------------------------|----------|-------|----------|--------|----------|---------------------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|--|--|--|--|--|
| ROSÇA INTEIRA - UNC                |          |       |          |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| NORMAS : Dimensões - ANSI B 18.2.1 |          |       |          |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| BITOLA                             | 1/4"     | 5/16" | 3/8"     | 7/16"  | 1/2"     | 1/2" <sup>BSW</sup> | 9/16"    | 5/8"   | 3/4"     | 7/8"     | 1"       | 1.1/8"   | 1.1/4"   | 1.3/8"   | 1.1/2"   |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| Fios p/ Polegada                   | 20 - UNC |       | 18 - UNC |        | 16 - UNC |                     | 14 - UNC |        | 13 - UNC |          | 12 - BSW |          | 12 - UNC |          | 11 - UNC |        | 10 - UNC |        | 9 - UNC |         | 8 - UNC |        | 7 - UNC |          | 7 - UNC |        | 6 - UNC |         | 6 - UNC |        |  |  |  |  |  |
| Cabeça                             | Chave    | 7/16" |          | 1/2"   |          | 9/16"               |          | 5/8"   |          | 3/4"     |          | 3/4"     |          | 13/16"   |          | 15/16" |          | 1.1/8" |         | 1.5/16" |         | 1.1/2" |         | 1.11/16" |         | 1.7/8" |         | 2.1/16" |         | 2.1/4" |  |  |  |  |  |
|                                    | Altura   | 4,14  |          | 5,36   |          | 6,17                |          | 7,39   |          | 8,20     |          | 8,20     |          | 9,42     |          | 10,24  |          | 12,27  |         | 14,30   |         | 15,93  |         | 19,82    |         | 20,65  |         | 22,30   |         | 24,73  |  |  |  |  |  |
| Comprimento                        |          |       |          |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 1/2"                               | 10,47    | 17,07 | 26,00    |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 5/8"                               | 11,86    | 19,66 | 28,41    |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 3/4"                               | 12,96    | 21,19 | 32,10    | 48,68  | 64,20    | 65,00               |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 7/8"                               | 14,36    | 23,87 | 34,09    |        |          |                     |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 1"                                 | 14,29    | 23,36 | 34,97    | 52,12  | 67,91    | 69,00               | 94,69    | 122,91 | 196,62   |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 1.1/4"                             | 16,88    | 26,89 | 39,60    | 59,63  | 76,55    | 77,63               | 107,81   | 136,73 | 217,95   |          |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 1.1/2"                             | 18,62    | 30,19 | 46,13    | 68,00  | 86,69    | 86,44               | 116,81   | 146,35 | 234,55   | 367,88   |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 1.3/4"                             | 20,87    | 33,83 | 49,73    | 74,68  | 96,11    | 97,31               | 129,38   | 167,09 | 254,73   | 381,94   |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 2"                                 | 22,95    | 37,43 | 54,94    | 82,27  | 104,18   | 104,63              | 142,69   | 174,85 | 275,64   | 437,81   | 563,64   | 1.029,17 |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 2.1/4"                             | 25,18    | 41,04 | 60,38    | 113,75 | 117,94   |                     | 191,13   | 298,60 | 468,04   | 605,45   | 1.073,48 |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 2.1/2"                             | 27,38    | 44,61 | 65,59    | 122,93 | 122,81   | 167,44              | 205,67   | 319,93 | 479,44   | 649,27   | 1.147,35 | 2.245,45 |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 2.3/4"                             | 29,55    | 48,17 | 70,80    | 132,09 | 135,19   |                     | 220,22   | 341,27 | 513,75   | 685,62   | 1.216,29 | 2.375,00 |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 3"                                 | 31,74    | 51,73 | 75,98    | 140,04 | 149,06   | 189,88              | 234,78   | 362,58 | 547,50   | 712,73   | 1.280,30 | 2.482,95 | 2.993,94 | 3.864,77 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 3.1/4"                             | 34,69    | 56,25 | 81,56    | 145,45 | 165,00   |                     | 246,55   | 383,64 | 583,13   | 784,55   |          |          |          |          |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 3.1/2"                             | 37,50    | 58,86 | 85,50    | 150,53 | 167,81   | 214,05              | 258,18   | 401,82 | 616,50   | 796,36   | 1.403,41 | 2.727,65 | 3.353,79 | 4.203,03 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 4"                                 | 43,13    | 65,96 | 96,84    | 177,96 | 180,94   | 238,22              | 287,27   | 441,96 | 684,94   | 869,09   | 1.526,52 | 3.001,14 | 3.620,08 | 4.476,52 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 4.1/2"                             |          |       | 110,63   | 217,62 | 224,42   |                     | 322,11   | 493,09 | 752,63   | 952,73   | 1.639,77 | 3.145,08 | 3.929,55 | 4.944,32 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 5"                                 |          |       | 123,75   | 239,15 | 246,62   |                     | 351,22   | 528,18 | 822,00   | 1.047,45 | 1.787,50 | 3.382,58 | 4.231,82 | 5.196,21 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 5.1/2"                             |          |       |          | 268,55 | 276,94   |                     | 380,33   | 574,55 | 891,75   | 1.126,91 | 1.915,53 | 3.699,24 | 4.512,50 | 5.520,08 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |
| 6"                                 |          |       |          | 290,55 | 299,63   |                     | 407,47   | 612,36 | 943,88   | 1.231,51 | 2.048,48 | 3.821,59 | 4.793,18 | 5.822,35 |          |        |          |        |         |         |         |        |         |          |         |        |         |         |         |        |  |  |  |  |  |

CÓDIGO (#) = 1 = ENEGRECIDO DE TÊMPERA | 2 = ZINCADO | 3 = BICROMATIZADO | 4 = GALV. A FOGO

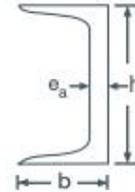
## ANEXO C – PERFIL U ESTRUTURAL

### PERFIS

#### Perfis U

Principais aplicações:

- Estruturas metálicas;
- Máquinas e implementos agrícolas;
- Equipamentos de transporte;
- Indústria mecânica em geral.



*Dimensões e Massa – série em polegadas (Tolerâncias conforme ASTM A-6)*

| Designação        |             | Massa Linear | Altura (h) |     | Largura (b) |       | Espessura da Alma (ea) |       |
|-------------------|-------------|--------------|------------|-----|-------------|-------|------------------------|-------|
| pol X lb/pé       | mm X kg/m   | kg/m         | mm         | pol | mm          | pol   | mm                     | pol   |
| 3X4,10 (1ª Alma)  | 76,2X6,10   | 6,10         | 76,2       | 3   | 35,80       | 1,410 | 4,32                   | 0,170 |
| 3X5,00 (2ª Alma)  | 76,2X7,44   | 7,44         |            |     | 38,00       | 1,498 | 6,55                   | 0,258 |
| 4X5,40 (1ª Alma)  | 101,6X8,04  | 8,04         | 101,6      | 4   | 40,20       | 1,584 | 4,67                   | 0,184 |
| 4X6,25* (2ª Alma) | 101,6X9,30  | 9,30         |            |     | 41,84       | 1,647 | 6,27                   | 0,247 |
| 6X8,20 (1ª Alma)  | 152,4X12,20 | 12,20        | 152,4      | 6   | 48,80       | 1,920 | 5,08                   | 0,200 |
| 6X10,50 (2ª Alma) | 152,4X15,60 | 15,60        |            |     | 51,70       | 2,034 | 7,98                   | 0,314 |

\* Não faz parte da Norma ASTM A-6.

Comprimentos-padrão: 6 e 12 m. Outros comprimentos sob consulta.

Fonte: GERDAU 2021

## ANEXO D – MÉTODOS DE FIXAÇÃO PARA TESTES



Home Empresa Produtos ▾ Projetos especiais Artigos Contato 🔍



### Ensaio de tração – Garra cunha

Garra por efeito cunha para ensaio de tração em materiais utilizado na máquina universal de ensaios.



### Ensaio de compressão

Dispositivo utilizado em ensaio de compressão de materiais utilizado na máquina universal de ensaios.



### Ensaio de flexão

Dispositivo utilizado em ensaios de flexão ou dobramento em máquina universal de ensaios.



### Ensaio de cisalhamento

Dispositivo plano para ensaio de cisalhamento utilizado na máquina universal de ensaio.



### Ensaio tração – Garra alavanca

Garra por efeito alavanca: Ensaio de tração de materiais utilizada na máquina universal de ensaios.



### Ensaio de tração de fios

Dispositivo de rolos para ensaio de fios e materiais utilizado na máquina universal de ensaios.



### Ensaio tração de porcas

Dispositivo para ensaio de tração de porcas de parafusos com diversas dimensões.



### Ensaio atrito fio ortodôntico

Dispositivo para ensaio de tração para determinação do atrito de fios ortodônticos.

Fonte: Biopdi, 2021

## ANEXO E – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS

**Apêndice C-4a** *Propriedades Mecânicas dos Aços-carbono e Ligas de Aço Seleccionadas*

| I: Número<br>AISI <sup>a</sup> | Tratamento  | Limite de Resistência à Tração |       | Resistência ao Escoamento |      | Elongação (%) | Redução de Área (%) | Dureza Brinell, $H_N$ | Resistência ao Impacto Izod |         |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------|---------------------------|------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---------|
|                                |             | MPa                            | ksi   | MPa                       | ksi  |               |                     |                       | J                           | ft · lb |
| 1015                           | Laminado    | 420,6                          | 61,0  | 313,7                     | 45,5 | 39,0          | 61,0                | 126                   | 110,5                       | 81,5    |
|                                | Normalizado | 424,0                          | 61,5  | 324,1                     | 47,0 | 37,0          | 69,6                | 121                   | 115,5                       | 85,2    |
|                                | Recozido    | 386,1                          | 56,0  | 284,4                     | 41,3 | 37,0          | 69,7                | 111                   | 115,0                       | 84,8    |
| 1020                           | Laminado    | 448,2                          | 65,0  | 330,9                     | 48,0 | 36,0          | 59,0                | 143                   | 86,8                        | 64,0    |
|                                | Normalizado | 441,3                          | 64,0  | 346,5                     | 50,3 | 35,8          | 67,9                | 131                   | 117,7                       | 86,8    |
|                                | Recozido    | 394,7                          | 57,3  | 294,8                     | 42,8 | 36,5          | 66,0                | 111                   | 123,4                       | 91,0    |
| 1030                           | Laminado    | 551,6                          | 80,0  | 344,7                     | 50,0 | 32,0          | 57,0                | 179                   | 74,6                        | 55,0    |
|                                | Normalizado | 520,6                          | 75,5  | 344,7                     | 50,0 | 32,0          | 60,8                | 149                   | 93,6                        | 69,0    |
|                                | Recozido    | 463,7                          | 67,3  | 341,3                     | 49,5 | 31,2          | 57,9                | 126                   | 69,4                        | 51,2    |
| 1040                           | Laminado    | 620,5                          | 90,0  | 413,7                     | 60,0 | 25,0          | 50,0                | 201                   | 48,8                        | 36,0    |
|                                | Normalizado | 589,5                          | 85,5  | 374,0                     | 54,3 | 28,0          | 54,9                | 170                   | 65,1                        | 48,0    |
|                                | Recozido    | 518,8                          | 75,3  | 353,4                     | 51,3 | 30,2          | 57,2                | 149                   | 44,3                        | 32,7    |
| 1050                           | Laminado    | 723,9                          | 105,0 | 413,7                     | 60,0 | 20,0          | 40,0                | 229                   | 31,2                        | 23,0    |
|                                | Normalizado | 748,1                          | 108,5 | 427,5                     | 62,0 | 20,0          | 39,4                | 217                   | 27,1                        | 20,0    |
|                                | Recozido    | 636,0                          | 92,3  | 365,4                     | 53,0 | 23,7          | 39,9                | 187                   | 16,9                        | 12,5    |
| 1095                           | Laminado    | 965,3                          | 140,0 | 572,3                     | 83,0 | 9,0           | 18,0                | 293                   | 4,1                         | 3,0     |
|                                | Normalizado | 1013,5                         | 147,0 | 499,9                     | 72,5 | 9,5           | 13,5                | 293                   | 5,4                         | 4,0     |
|                                | Recozido    | 656,7                          | 95,3  | 379,2                     | 55,0 | 13,0          | 20,6                | 192                   | 2,7                         | 2,0     |
| 1118                           | Laminado    | 521,2                          | 75,6  | 316,5                     | 45,9 | 32,0          | 70,0                | 149                   | 108,5                       | 80,0    |
|                                | Normalizado | 477,8                          | 69,3  | 319,2                     | 46,3 | 33,5          | 65,9                | 143                   | 103,4                       | 76,3    |
|                                | Recozido    | 450,2                          | 65,3  | 284,8                     | 41,3 | 34,5          | 66,8                | 131                   | 106,4                       | 78,5    |

Fonte: Jvinall e Marshek, 2006