



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**RESTON CASPER VIEIRA SOUSA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE IMPACTO.**

**BOM JESUS DA LAPA**

**2021**

**RESTON CASPER VIEIRA SOUSA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE IMPACTO.**

Monografia apresentado ao centro multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica.

**ORIENTADOR: PROF. ME. FILIPI MARQUES DE SOUZA**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DO TCC DEFENDIDO PELO ALUNO RESTON CASPER VIEIRA SOUSA E ORIENTADO PELO PROF. ME. FILIPI MARQUES DE SOUZA.

**BOM JESUS DA LAPA**

**2021**

## **RESTON CASPER VIEIRA SOUSA**

### **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE IMPACTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para aprovação na Disciplina Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso.

Bom Jesus da Lapa, 02 de setembro de 2021.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Projeto:

---

**Prof. Me. Filipi Marques de Souza, Presidente**

**Universidade Federal do oeste da Bahia**

---

**Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha**

**Universidade Federal do oeste da Bahia**

---

**Eng. Me. Virginia Bezerra Oliveira Campos**

**Universidade Federal do Cariri**

## **DEDICATÓRIA**

A todos aqueles que acreditaram em meu potencial e contribuíram de alguma forma para que eu pudesse chegar até aqui.

Dedico ainda, a duas pessoas em especial que partiram e não puderam presenciar a realização desse sonho, meu melhor amigo Fagner e minha prima Cleide, pessoas estas, que sempre foram apoiadores e incentivadores não só na minha jornada acadêmica, mas no decorrer da vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada em nossas vidas seria possível, pois em todos os momentos de angústias e incertezas sempre esteve presente, me trazendo conforto e forças para conquistar esse objetivo.

A minha mãe, meu pai e meus irmãos, pois sempre foram os grandes incentivadores desse sonho, mostrando sempre que a educação é o caminho para a transformação do ser humano, e nunca deixando de nutrir meus pensamentos.

A todos os amigos e familiares, que independente da distância sempre se fizeram presentes em minha vida.

A Najara Ribeiro por todo incentivo durante boa parte dessa caminhada, seu apoio foi determinante para o estímulo e desejo de continuar prosseguindo no caminho educacional.

Ao meu orientador, Filipi Marques por aceitar dividir esse projeto comigo e compartilhar de seus ensinamentos não só nesse trabalho em específico, mas em todo o decorrer da minha formação como futuro profissional.

A todos os professores e envolvidos no funcionamento da UFOB que contribuíram para minha formação, em especial o professor André Issao que foi o coordenador desse trabalho e ao professor Lucas Aninger que de início foi quem me apresentou a pesquisa e mostrou as diferentes possibilidades.

Aos amigos que fiz durante todo esse período que estive nessa cidade e que, sem sombra de dúvidas, tornaram a experiência de uma nova cidade ser bem mais fácil do que normalmente seria, por todas as horas de estudos compartilhadas, por cada reunião que terminava em filme, entre tantos momentos em que vocês estiveram presentes. Vocês foram uma segunda família e a maior saudade nesse ciclo que se encerra.

*Mesmo quando eu andar por um vale de trevas e morte,  
não temerei perigo algum, pois tu estas comigo; a tua  
vara e teu cajado me protegem.*  
(Salmo 23)

## RESUMO

SOUSA.V; Reston Casper. **Projeto e construção de uma máquina de ensaio de impacto.** 2021. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Bom Jesus da Lapa, 21/05/2021.

Em qualquer área da engenharia é necessário conhecer as propriedades dos materiais, pois através dessas é possível analisar em quais condições alguns elementos podem ser aplicados de maneira confiável. Uma das formas mais utilizadas para obter tal conhecimento, é através da utilização dos ensaios mecânicos, destacando entre eles o de impacto, no qual este é caracterizado por ser um procedimento dinâmico utilizado para o conhecimento da energia de impacto dos materiais, sendo utilizado a máquina de ensaio de impacto como instrumento de medição dessa energia, e que devido sua simplicidade é capaz de analisar diferentes corpos de prova. Para esse tipo de ensaio, dois tipos são os mais utilizados, o Charpy e o Izod, os quais se diferenciam basicamente no corpo de prova a ser ensaiado e nos apoios do mesmo, sendo a estrutura da máquina a mesma para ambos os tipos. Dessa forma com a finalidade de conhecer melhor esse equipamento, foi realizado através deste trabalho, o dimensionamento e construção de uma máquina de ensaio de impacto do tipo Charpy, obedecendo as normas previamente estabelecidas pela ASMT. O projeto trata-se da adaptação do dispositivo comercial, para um de bancada como funcionalidade didático, mantendo as diretrizes estabelecidas nas normas da ASTM, a fim de melhorar o aprendizado dos futuros estudantes com relação a esse tipo de ensaio, uma vez que possibilitará aos mesmos a visualização desse dispositivo na prática.

Palavras-chave: Ensaios mecânicos. Ensaio de impacto. Ensaio Charpy. Propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

SOUSA.V; Reston Casper. **Projeto e construção de uma máquina de ensaio de impacto.** 2021. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Bom Jesus da Lapa, 21/05/2021.

In any area of engineering, it is necessary to know the properties of the materials, because through these it is possible to analyze under which conditions some elements can be applied reliably. One of the most used ways to obtain such knowledge, is through the use of mechanical tests, highlighting among them the impact test, in which this is characterized by being a dynamic procedure used for the knowledge of the impact energy of the materials, being used the machine impact test as an instrument for measuring this energy, and that due to its simplicity is capable of analyzing different specimens. For this type of test, two types are the most used, Charpy and Izod, which differ basically in the specimen to be tested and in the supports of the same, since the structure of the machine is the same for both types. Thus, in order to get to know this equipment better, it was carried out through this work, the dimensioning of an impact test machine of the Charpy type, obeying the rules previously established by ASMT. The project is about adapting the commercial device to a bench as a didactic functionality, maintaining the guidelines established in the ASTM standards, in order to improve the learning of future students in relation to this type of test, since it will enable students to the visualization of that device in practice.

Key-words: Mechanical tests. Impact test. Charpy test. Mechanical properties.

## LISTA DE INLUSTRAÇÕES

Figura 1 - Navio com fratura abrupta devido o material se comportar de maneira frágil.....	19
Figura 2 - Equipamento para o ensaio de impacto.....	22
Figura 3 - Curva de resposta ao ensaio de impacto.....	23
Figura 4 - Corpos de prova: (a) Izod (b) Charpy.....	23
Figura 5 - Tipos de corpo de prova Charpy recomendados pela ASTM e ABNT.....	24
Figura 6 - Corpo de prova padrão para o teste de impacto Izod.....	25
Figura 7 - Modelo de máquina de impacto Charpy apresentado pela norma padrão.....	28
Figura 8 - Representação da máquina de impacto e seus componentes.....	29
Figura 9 - (a) e (b)- Descrição do cutelo.....	31
Figura 10 - Cutelo.....	32
Figura 11 - Esquema do funcionamento do ensaio de impacto.....	38
Figura 12 - Modelo real do equipamento de ensaio de impacto.....	39
Figura 13 - (a) e (b)- colunas de sustentação.....	40
Figura 14 - Martelo de impacto.....	41
Figura 15 - Cutelo acoplado ao martelo.....	42
Figura 16 - Cubo traseiro de ferro com espaçador 36 furos.....	42
Figura 17 - Haste soldada ao eixo.....	43
Figura 18 - Conjunto (haste, eixo e martelo) .....	43
Figura 19 - Fixação do apoio do corpo de prova.....	44
Figura 20 - Relação angulação e altura.....	45
Figura 21 - Marcador de posição de soltura.....	46
Figura 22 -Escala graduada.....	46
Figura 23 - Máquina de ensaio de impacto de baixo custo.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição dos componentes da máquina de impacto.....	29
Tabela 2- Considerações iniciais para o projeto.....	30
Tabela 3- Propriedades do Aço 1020.....	30
Tabela 4- Relação- angulação e posição.....	45
Tabela 5- Cronograma de atividades desenvolvidas.....	47
Tabela 6- Gastos na construção do projeto.....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American society for testing and materials
CP	Corpo de Prova
ED	Ensaio Destrutivo
END	Ensaio Não Destrutivo

## LISTA DE SIMBOLOS

$A_c$	-	Área de contato do cutelo com corpo de prova [m <sup>2</sup> ];
$\alpha$	-	Ângulo da base da extremidade do cutelo [180°];
$\beta$	-	Ângulo de queda do martelo [150°];
$c$	-	Centro do corpo de prova [m];
$C_p$	-	Centro de percussão [m];
$d$	-	Diâmetro interno do tubo [m];
$D$	-	Diâmetro externo do tubo em m [m];
$d$	-	Diâmetro da extremidade do cutelo [m];
$E$	-	Energia de impacto [50 J];
FS-		Fator de segurança
$g$	-	Aceleração da gravidade [9,81 m/s <sup>2</sup> ];
$h$	-	Altura (cm)
$I_t$	-	Momento de inércia de um tubo[m <sup>4</sup> ].
$l$	-	Comprimento do cutelo [0,03 m].
$L_c$	-	Comprimento do cutelo [m];
$l_h$	-	Comprimento da haste em [m];
$m_m$	-	Massa do martelo [kg];
$m_h$	-	Massa da haste[kg];
$\rho$	-	Densidade do aço[g/m <sup>3</sup> ]
$P_m$	-	Força peso do martelo[KN];
$P_h$	-	Peso da haste [N];
$V$	-	Volume da haste [m <sup>3</sup> ];
$v$	-	Velocidade de impacto [m/s];

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 objetivos específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Materiais mecânicos .....</b>	<b>18</b>
3.1.1. Propriedades mecânicas dos materiais .....	18
3.1.1.1. Resistência dos materiais mecânicos.....	18
3.1.1.2. Tenacidade .....	20
<b>3.2. Ensaio mecânicos.....</b>	<b>20</b>
3.2.1. Não destrutivos.....	20
3.2.2. Destrutivos.....	21
<b>3.3. Ensaio de impacto.....</b>	<b>21</b>
3.3.1. Tipos de ensaio de impacto.....	23
3.3.2. Corpos de prova.....	24
<b>4. PROJETOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA.....</b>	<b>26</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1. Dimensionamento do cutelo.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2. Dimensionamento do centro de percussão.....</b>	<b>32</b>
<b>5.3. Massa do martelo.....</b>	<b>33</b>
<b>5.4. Material do cutelo.....</b>	<b>33</b>
<b>5.5. Dimensionamento da haste.....</b>	<b>35</b>
<b>5.6. Dimensionamento da coluna.....</b>	<b>36</b>
<b>5.7. Dimensionamento do eixo.....</b>	<b>37</b>
<b>5.8. Funcionamento.....</b>	<b>38</b>

<b>6. CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1. colunas de sustentação.....</b>	<b>40</b>
<b>6.2. martelo e cutelo.....</b>	<b>41</b>
<b>6.3. Eixo.....</b>	<b>42</b>
<b>6.4. haste.....</b>	<b>43</b>
<b>6.5. Apoios do corpo de prova.....</b>	<b>44</b>
<b>6.6. medição (escala, ponteiro e marcador de posição) .....</b>	<b>44</b>
<b>6.7. Equipamento final.....</b>	<b>47</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>49</b>

## **REFERÊNCIAS**

<b>ANEXO 1- Planta inicial do projeto.....</b>	<b>52</b>
--	-----------

# 1 INTRODUÇÃO

Desde o processo histórico de descoberta dos materiais até sua vasta aplicação em diferentes setores da industrialização, grandes mudanças tiveram que ocorrer para que esses apresentassem uma maior eficiência. Com a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, para que esses atendessem a evolução dos equipamentos e máquinas nos processos de produção, alterações foram feitas na composição do material desses elementos.

As propriedades químicas e físicas são as responsáveis por conferir aos materiais diferentes características. Alterar tais propriedades podem ocasionar mudanças significativas nas propriedades mecânicas dos elementos, como elasticidade, tenacidade, rigidez e dureza. Cada uma dessas propriedades é responsável por proporcionar uma determinada característica aos materiais, e é importante analisá-las para estabelecer parâmetros de segurança e qualidade para diferentes setores.

No setor da engenharia uma das principais preocupações, é com relação a resistência dos materiais diante das exigências de projeto, pois um elemento por diferentes fatores pode vir a falhar e prejudicar todo um planejamento. Geralmente essas falhas ocorrem pela fratura do elemento, que consiste na ruptura do objeto em duas ou mais partes devido a uma força estática.

A fratura é classificada pela deformação plástica devido a uma tensão. Sendo os modos de fratura divididos em frágil e dúctil. Os materiais frágeis possuem a capacidade de absorver uma pequena quantidade de energia antes da sua ruptura. Por outro lado, os dúcteis possuem alta absorção de energia e grande deformação plástica (CALLISTER, 2012).

Conhecer como um dado material se comporta ao ser submetido a algum tipo de esforço é muito importante para determinar em que situações podem ser aplicados. Pensando nisso, diferentes formas de conhecer as propriedades mecânicas dos materiais foram criadas, sendo uma delas os ensaios mecânicos.

Dentre os diversos tipos de ensaios mecânicos, destacam-se os ensaios de tração, compressão, flexão, torção e impacto, uma das principais diferenças entre essas avaliações, a área de aplicação do esforço, o grau de intensidade, e as informações obtidas a respeito do comportamento do material ensaiado (ALMEIDA e SILVA, 2015).

O ensaio de impacto, objeto de estudo deste trabalho, é um ensaio dinâmico utilizado na análise de fraturas frágeis nos materiais e consiste em submeter um corpo de prova a uma força repentina, e com isso medir a energia que ele absorve antes de romper. Se caracteriza

como um ensaio que envolve altas taxas de deformação, e permite observar a deformação que o corpo de prova sofre ao ser submetido a uma flexão provocada por impacto, esse ensaio fornece propriedades a respeito do comportamento dos materiais que não podem ser obtidas com outros tipos de ensaios.

Em meio as propriedades observadas com a utilização do ensaio de impacto destacam-se duas muito importantes, a tenacidade e a transição dúctil-frágil dos materiais. A tenacidade é observada sob altas taxas de deformação e permite quantificar a energia que um material é capaz de absorver durante o processo de rompimento.

A transição dúctil-frágil dos materiais está relacionada com a temperatura em que o elemento irá apresentar comportamento frágil, uma das formas de se observar esse comportamento é experimentalmente, e consiste em submeter um material a uma energia de impacto em função da temperatura, e com isso obter em que faixas de temperatura o material irá apresentar determinado comportamento.

Portanto o ensaio de impacto, pela sua facilidade de execução e baixo custo de confecção dos corpos de prova, se faz um dos primeiros e mais empregados ensaios para o estudo de fratura frágil nos metais. Pois através dele pode-se determinar a tendência de um material a se comportar de maneira frágil.

A máquina de teste de impacto a ser construída irá permitir um estudo acerca dos polímeros, estes materiais foram escolhidos devido a quantidade de energia que é necessário para demonstrar esse tipo de ensaio. Por se tratar de uma construção de um equipamento de baixo custo e com dimensões restritas, o estudo dos polímeros é o mais indicado nesse tipo de situação.

Dessa forma este trabalho é importante para a comunidade acadêmica pois apresentará informações acerca do ensaio de impacto e as propriedades mecânicas que podem ser observadas nesse teste. Em relação à construção do equipamento, será de grande utilidade para o curso de Engenharia Mecânica da UFOB – Campus Lapa, uma vez que sua aplicação proporcionará aos estudantes experiências práticas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Dimensionar e construir uma máquina de ensaio de impacto de baixo custo do tipo Charpy, para realizar ensaios segundo as normas internacionais da ASMT e analisar suas contribuições para o cenário da engenharia local.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Revisar as referências para um melhor entendimento sobre ensaio de impacto e conhecer quais parâmetros são necessários para realização desse teste.
- Projetar cada componente do equipamento e acoplá-los, utilizando a ferramenta CAD para a obtenção do modelo desejado.
- Calcular as diferentes variáveis de projeto através das equações fundamentais da resistência dos materiais para realizar a seleção do material adequado para a confecção desse equipamento.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Materiais mecânicos**

Historicamente os materiais mecânicos estão diretamente ligados com a existência do ser humano e toda sua evolução, eles encontram-se presentes em todos os seguimentos do cotidiano, nos transportes, habitações, produtos alimentícios, vestuário e entre outros, apresentam diferentes características em sua composição molecular, o que confere aos materiais diferentes propriedades mecânicas e os direciona para suas áreas de aplicação.

Os materiais mecânicos são frequentemente utilizados em aplicações estruturais por possuírem combinações de características mecânicas desejáveis. Muitos materiais utilizados são submetidos a esforços como aplicação de forças e carga, nestas situações é preciso conhecer as características do material e projetá-lo de acordo com sua composição, com isso é possível garantir que a deformação que ele sofrerá não seja excessiva ocasionando a fratura do material (CALLISTER, 2012).

##### **3.1.1. Propriedades mecânicas dos materiais**

As propriedades mecânicas dos materiais são obtidas experimentalmente ao analisar o comportamento do material quando submetido a uma aplicação de carga ou força em um dado período de tempo, o esforço aplicado pode variar de acordo com o material e apresenta vários tipos, entre eles, tração, compressão, cisalhamento e outros. Dentre as propriedades que podem ser observadas destacam-se, a elasticidade, plasticidade, dureza, resiliência e tenacidade. A temperatura em que se encontra o corpo de prova no momento dos testes influencia significativamente nos resultados adquiridos.

Conhecer as propriedades dos materiais é de extrema importância para a engenharia como um todo, principalmente na área de projetos, pois com base nas propriedades obtidas dos materiais é possível determinar suas características, e através destas, analisar em que situações eles podem ser aplicados para garantir uma maior eficiência e segurança no projeto.

##### **3.1.1.1. Resistência dos materiais mecânicos.**

A resistência dos materiais é obtida com o estudo das forças internas, a deformação e as cargas externas. Para se obter essa variável é necessário considerar que o elemento analisado

esteja em equilíbrio, a partir daí, forças externas são aplicadas sobre este corpo para que seja possível obter a relação entre força externa e interna, durante o processo de aplicação de carga é possível observar o material se deformar, o mesmo irá parar de resistir quando as tensões externas superarem as internas, ocasionando a fratura (DIETER, 1961).

As forças internas resistentes, são expressadas geralmente pela tensão atuante sobre a área do corpo, e são observadas pela sua deformação, a maioria dos metais apresentam esse comportamento, porém, mesmo conhecendo as características dos materiais, em alguns casos de falha não é possível perceber a deformação do material para que seja possível uma intervenção, quando isso acontece é chamado de fratura abrupta. Um exemplo disto pode ser observado na Figura 1, quando um navio na segunda guerra mundial se partiu ao meio deixando milhares de pessoas sem entender o ocorrido.

**Figura 1-** Navio com fratura abrupta devido o material se comportar de maneira frágil.



**Fonte:** (CALLISTER, 2012)

Para a engenharia um acontecimento como esse é sempre indesejável por vários aspectos, as quais incluem as perdas econômicas e a indisponibilidade do serviço, mas principalmente o cuidado com a vida do ser humano. Embora se conheça as principais causas de falhas nos materiais, garantir a prevenção destas é algo sempre difícil.

Segundo vários pesquisadores o grande motivo da fratura no navio foi a questão da temperatura em que ele foi submetido, eles concluíram que as soldas realizadas nas chapas da estrutura foram em temperaturas ambiente, logo estas não estavam preparadas para suportar baixas temperaturas, com isso ocorreu a fratura abrupta (PANDOLFI, 2016).

Com base nisso é possível perceber que um projeto de engenharia não deve levar em consideração somente as causas comuns, como a escolha de material e a utilização errada de equipamento, mas sim todos os fatores que interferem no desempenho esperado.

#### 3.1.1.2. Tenacidade

A tenacidade é a habilidade que um material tem de absorver energia e se deformar plasticamente antes de romper, geralmente esse comportamento é medido sob altas taxas de carregamento dinâmico. Para materiais metálicos estáticos em que pequenas deformações são percebidas, a tenacidade pode ser determinada por meio de um ensaio de tensão-deformação (CALLISTER, 2012).

Para a engenharia o que mais interessa é a tenacidade a fratura, essa nos indica como um material pode falhar quando apresentado uma trinca em sua estrutura ou outro defeito concentrador de tensões, como é quase impossível que um material não apresente defeitos em sua composição, é necessário analisar quando a ruptura ocorrerá. Esse acontecimento pode ser averiguado por meio dos ensaios mecânicos.

### 3.2. Ensaio mecânicos

O ensaio mecânico é um conjunto de operações técnicas que consistem em determinar, uma ou mais características de um dado produto, obedecendo um procedimento específico. Ele pode ser realizado para atender as necessidades de um fornecedor, comprador ou órgão certificador, todos estes com o objetivo de averiguar se o produto se encontra em conformidade com a norma (DUARTE, 2006).

Os ensaios mecânicos são realizados pela aplicação de uma inspeção no material ensaiado. Existem diferentes formas de se realizar esse estudo nos materiais, no qual, deve-se levar em consideração o tipo de resposta que se deseja obter para o ensaio, pois cada um é indicado para um melhor estudo de uma determinada propriedade.

A classificação dos ensaios mecânicos é realizada em função do estado que esse provoca no elemento de estudo, dessa forma pode ser classificado quanto a sua integridade, sendo essa: ensaios destrutivos, e não destrutivos.

#### 3.2.1. Não destrutivos

Considera-se ensaio não destrutivo (END), qualquer tipo de ensaio realizado a um dado

material que não altere suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, de forma permanente (MORAIS, 2016).

Segundo Callister (2012), os ensaios não destrutivos são de extrema importância para a ciência e a indústria, pois apresentam diferentes técnicas para avaliar e analisar as propriedades de um material ou componente, sem que danos sejam causados. A maioria destes ensaios baseia-se na aplicação de fenômenos físicos tais como ondas eletromagnéticas, acústicas, elasticidade, emissão de partículas subatômicas, capilaridade, ou qualquer outro teste que não gere danos ao material ensaiado.

Na engenharia esse tipo de ensaio é muito utilizado, uma vez que permitem observar e controlar as propriedades dos materiais, sua principal vantagem é justamente uma economia de tempo e custo, e garante que o material volte intacto para realizar sua função após a inspeção. Os ensaios mais comumente aplicados incluem ultrassom, partículas magnéticas, líquido penetrante e entre outros (MORAIS, 2016).

### 3.2.2. Destrutivos

É chamado de ensaio destrutivo, qualquer tipo de ensaio em que o corpo de prova fique impossibilitado de ser utilizado novamente, nesse tipo de ensaio ocorrem alterações permanentes nas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais dos materiais (MORAIS, 2016).

Os ensaios mecânicos destrutivos são usados em todos os setores que envolvem a resistências dos materiais, isso acontece porque, através desses ensaios é possível obter propriedades que não são observadas com os END, como resistência a tração, ductilidade do material, entre outras.

Na engenharia existem diversos tipos de ensaios destrutivos, no qual destacam-se: o ensaio de tração, compressão, dureza e impacto, sendo esse último muito importante para a análise de materiais, pois permite melhor a observação das suas propriedades com relação aos outros ensaios, a exemplo a tenacidade.

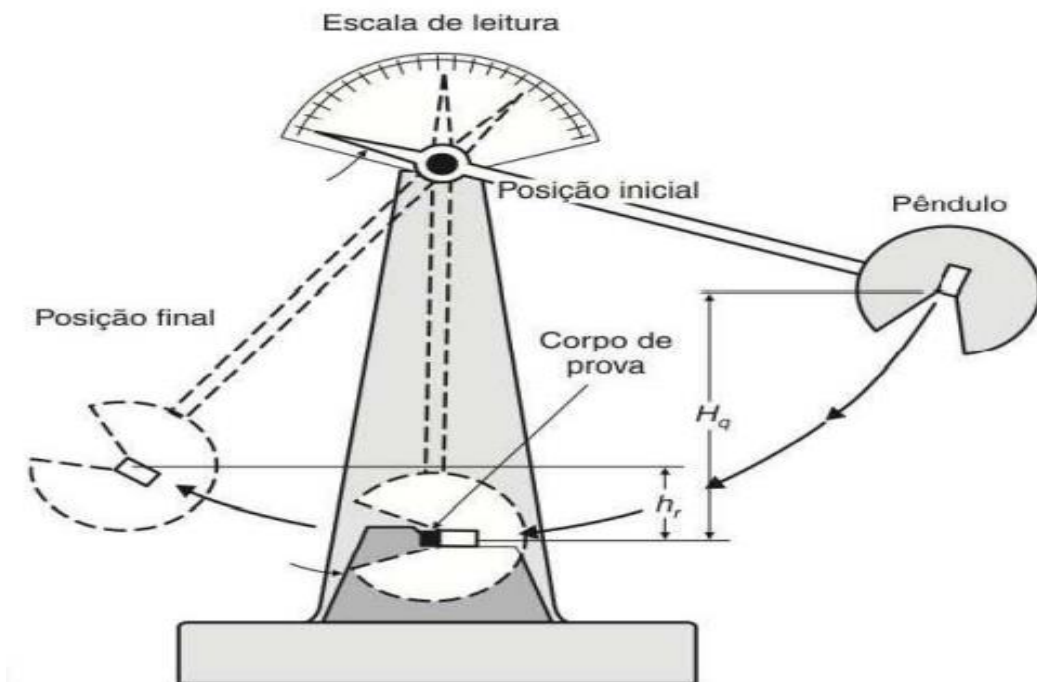
### 3.3. Ensaio de impacto

O ensaio de impacto é um ensaio dinâmico utilizado para análise do comportamento de fratura de materiais. Esse ensaio fornece a energia necessária para que uma amostra padronizada seja fraturada, sendo esse ensaio regido de acordo com as normas ASTM E23 e BS EN ISO 148-1. Entretanto, deve ser levado em consideração que esse tipo de ensaio nos fornece uma

informação qualitativa de tenacidade à fratura, no qual esses resultados podem ser somente comparados entre si ou com um valor determinado em uma especificação (GARCIA et al., 2012).

Nesse tipo de ensaio a carga é aplicada pelo impacto de um martelo pendular, que é liberado a partir de uma posição padrão e de uma altura fixa ( $H_q$ ). Após o pêndulo ser liberado, sua ponta choca-se e fratura o corpo de prova no entalhe, que atua como um concentrador de tensões. O pêndulo continua seu movimento após o choque, até uma altura ( $h_f$ ) sendo essa altura menor que a de liberação do pêndulo ( $H_q$ ). A energia absorvida no impacto é obtida através da diferença entre  $H_q$  e  $h_f$ , ambas medidas na escala do equipamento. (GARCIA et al., 2012). Uma forma de visualização desse equipamento pode ser observada na Figura 2.

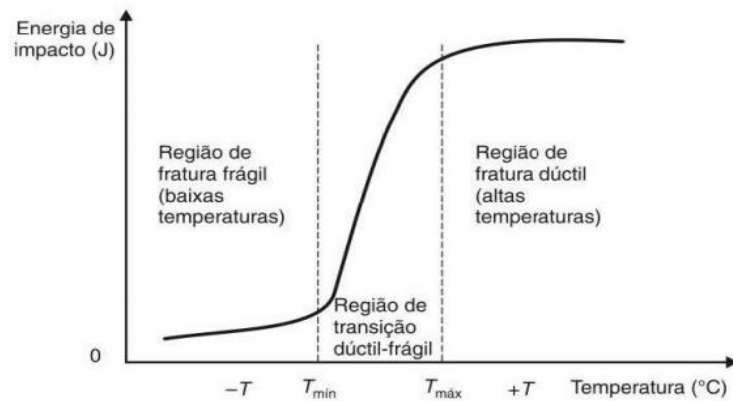
**Figura 2-** Equipamento para o ensaio de impacto.



**Fonte:** (GARCIA et al., 2012).

Através do ensaio de impacto é possível estabelecer as faixas de temperatura em que um dado material se comporta de maneira frágil, com base na energia absorvida pelos corpos de prova. Geralmente essa análise é feita através de várias repetições do teste de impacto nos corpos de prova padronizados, para diferentes condições de temperaturas. Essa representação pode ser observada na Figura 3.

**Figura 3-** Curva de resposta ao ensaio de impacto.



**Fonte:** (GARCIA et al., 2012).

### 3.3.1. Tipos de ensaio de impacto

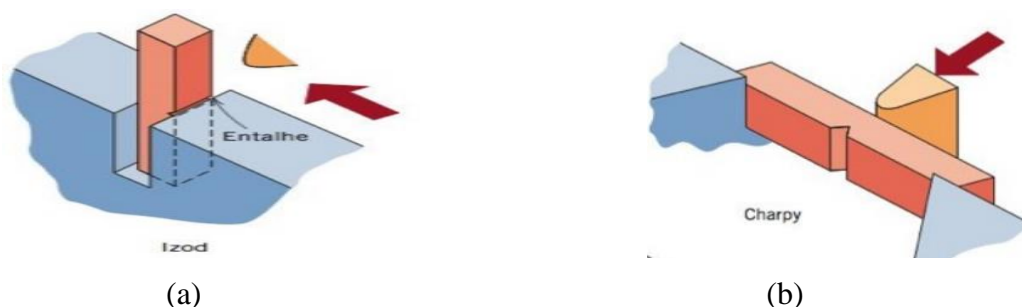
Existem dois tipos padronizados de ensaios de impacto, no qual esses são mais amplamente utilizados: Charpy e Izod. Em ambos os casos, o corpo de prova tem o formato de uma barra de seção transversal quadrada, na qual é usinado um entalhe em forma de V, U ou fechadura, padronizados pelas normas da ASTM (GARCIA et al., 2012).

De acordo Garcia et al., (2012) Os critérios essenciais para poder realizar esses tipos de ensaio são: corpo de prova padronizado, suporte rígido no qual o corpo de prova é apoiado ou engastado, pêndulo com massa conhecida solto de uma altura suficiente para fraturar totalmente o material e um dispositivo de escala realizar a medida das alturas antes e depois do impacto do pêndulo.

As variáveis como o tamanho e a forma do corpo de prova, a profundidade e a configuração do entalhe podem influenciar significativamente nos resultados dos testes.

Dentre as variáveis, as principais diferenças fundamentais entre os ensaios Charpy e Izod está relacionado na forma em que o corpo de prova é montado (horizontal ou vertical), conforme mostra as Figuras 4(a) e (b) (GARCIA et al., 2012). É possível observar também que o impacto não necessariamente precisa ocorrer na face do entalhe.

**Figura 4-** Corpos de prova: (a) Izod (b) Charpy



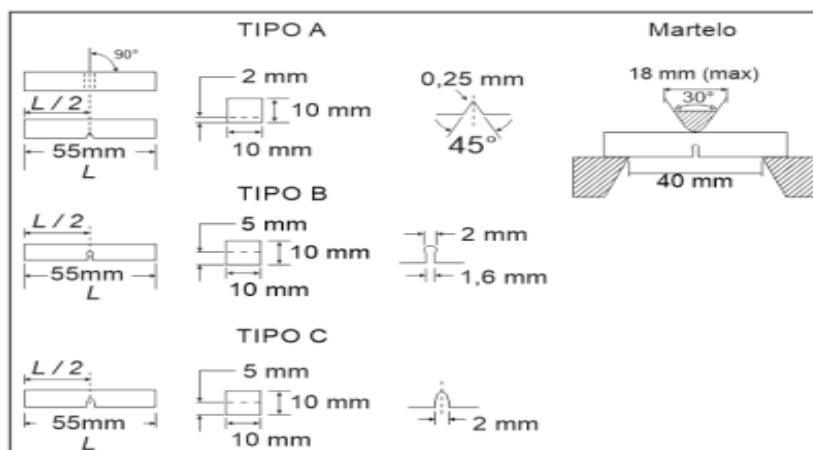
**Fonte:** (CALLISTER, 2012)

### 3.3.2. Corpos de prova.

A produção dos corpos de prova para os ensaios, deve ser feita com uma análise minuciosa e com atenção em relação as dimensões e acabamento dado, pois essas são fundamentais no processo de retirada de dados, principalmente quando se trata de ensaios destrutivos (MORAIS, 2016).

Os corpos de prova para o ensaio Charpy são do tipo entalhado e são especificados pela norma americana E-23 ASTM. Estes se dividem em três tipos, conforme o tamanho e a forma de seu entalhe, sendo esses do tipo A, B e C, no qual todos eles possuem uma seção quadrada de 10 mm de lado e um comprimento de 55 mm (SOUZA, 1982).

**Figura 5-** Tipos de corpo de prova Charpy recomendados pela ASTM e ABNT.



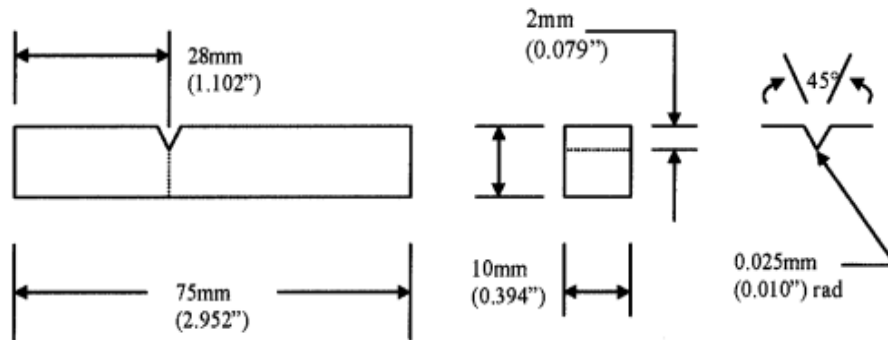
Fonte: (SOUZA, 1982)

No Charpy o entalhe é sempre realizado no meio do corpo e com relação aos tipos: V, fechadura e U, esses são representados por A, B e C respectivamente. A representação desses tipos de corpo de prova Charpy encontram-se disponíveis acima na Figura 5.

Como essas condições já são padrão, a norma também recomenda que a velocidade do martelo no momento do impacto esteja entre 5 e 6 m/s. A parte que entra em contato com o corpo de prova é o cutelo, este deve possuir um ângulo de 30° e um raio de curvatura entre 2 mm a 2,5 mm. A distância entre apoios deve ser de 40 mm, isso também pode ser observado na Figura 5 (GARCIA et al., 2012).

O corpo de prova para realização do ensaio de impacto tipo Izod (Figura 6) possui a seção quadrada de 10 mm de lado igual ao ensaio Charpy, mas possui uma variação no comprimento, que é de 75 mm, e na posição do entalhe, que se encontra a uma distância de 28 mm de uma das extremidades. Nesse ensaio há somente o entalhe em V (SOUZA, 1982).

**Figura 6-** Corpo de prova padrão para o teste de impacto Izod



Fonte: (ASTM E23, 2002).

De acordo com a norma E-23 da ASTM, para ensaios em ferro fundido ou metais fundidos, o corpo de prova não deve ser entalhado. Caso não seja possível retirar um corpo de prova nas dimensões padronizadas acima, por causa do tamanho da peça ou do tipo de material, a mesma norma citada anteriormente possui procedimentos de como deve ser realizado a confecção desses corpos de prova e suas dimensões.

#### **4 PROJETOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA**

Devido à grande importância do ensaio de impacto para análise do comportamento frágil dos elementos, diversos trabalhos foram realizados nessa área da engenharia dos materiais. Buscando essa mesma linha de pensamento, esse trabalho utilizou destas referências como base de pesquisa no desenvolvimento do projeto e construção do equipamento.

Dentre os pesquisadores tomados como referência, destaca-se Almeida e Silva (2015) que desenvolveram um equipamento para o ensaio de impacto Charpy, este por sua vez chama atenção pela quantidade de energia que foi possível adquirir com esse equipamento, sendo essa em torno de 150 J.

Contudo é possível perceber que Almeida e Silva (2015), tiveram que desenvolver um martelo pendular compatível para geração dessa energia, dessa forma foi projetado por estes, um martelo de massa 9,85 kg e uma angulação de queda de 160°. Entretanto como esse trabalho visa um estudo sobre as propriedades dos polímeros, não será necessária essa quantidade de energia, fazendo assim com que o projeto do martelo possua uma massa menor.

Sousa (2018) desenvolveu um pêndulo de impacto de baixo custo, e optou por escolher uma massa para o martelo consideravelmente baixa com relação aos demais, nesse sentido também, buscou mostrar a variação da energia relacionada principalmente ao ângulo de queda do pêndulo.

O equipamento desenvolvido por Sousa (2018) utilizou também os polímeros como material de estudo. A máquina em questão foi dimensionada para realizar os dois tipos de ensaio, Charpy e Izod, sendo que para ambos os tipos é alterado somente o formato do martelo e o apoio do corpo de prova, preservando a mesma estrutura do equipamento.

Com relação aos demais componentes da máquina de ensaio de impacto, tanto Almeida e Silva (2015), Sousa (2018), Almeida (2016) e entre outros pesquisadores, utilizaram principalmente de processo de usinagem para a confecção desses elementos, dentre esses processos destacam-se, torneamento, cerramento, furação e entre outros. Para a montagem do equipamento a maioria dos componentes em ambas as referências foi realizada por meio de soldas ou acoplados por meio de parafusos.

O corpo de prova utilizado nesse estudo para a validação dos resultados obtidos com relação a literatura, será o do tipo A de acordo com a ASMT D256 (2010), essa por sua vez traz resultados experimentais para os principais polímeros disponíveis no mercado.

Para medir o valor da energia absorvida pelo corpo de prova durante o ensaio tanto Sousa (2018) quanto Morais (2016), utilizaram a medição analógica. Essa leitura da medição é

feita utilizando uma placa graduada, sendo sua padronização obtida a partir de diferentes valores para angulações de queda.

Já Moraes *et al* (2014) criou um sistema de aquisição de dados para a máquina de ensaio Charpy, nesse estudo foi utilizado para a automação do equipamento um acelerômetro analógico que foi instalado no pêndulo Charpy. Esse dispositivo é capaz de determinar os valores de aceleração nos eixos x e y do pêndulo durante a realização do ensaio.

Com a utilização do acelerômetro é possível determinar as variáveis necessárias para a automação do ensaio Charpy, mas mesmo assim esse dispositivo ainda necessita de uma plataforma de hardware e software para a leitura, o cálculo, e a interpretação dos dados. Dessa forma para a plataforma de hardware e software utilizou-se o Arduino UNO (MORAES et al., 2014).

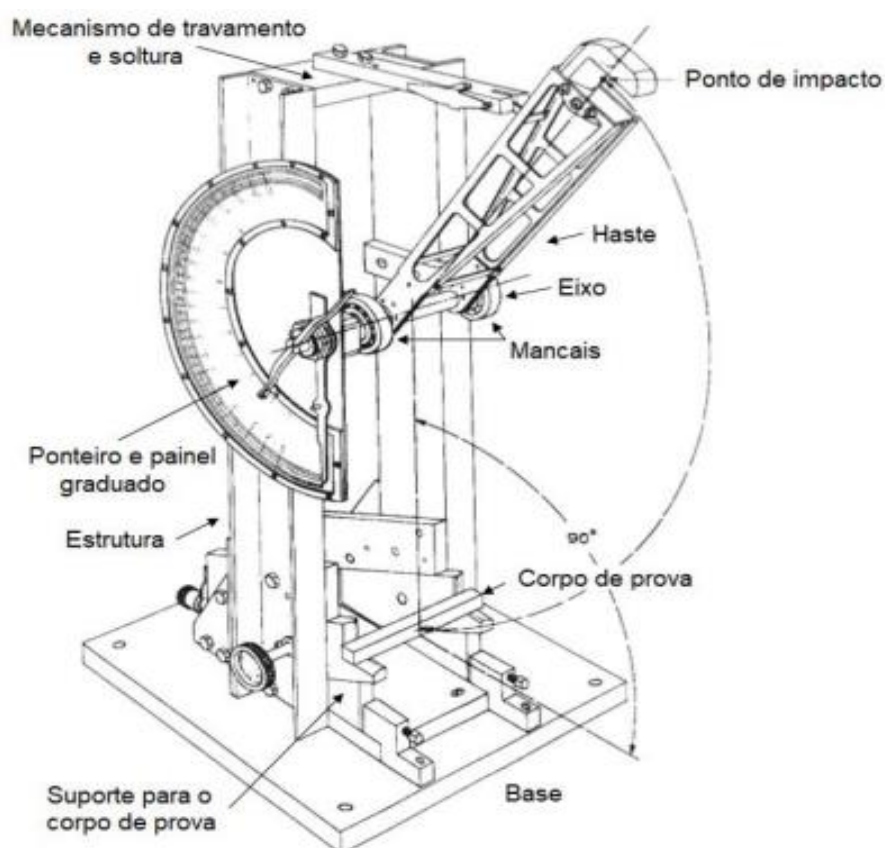
Tendo como opção essas duas formas de medição, a analógica e a automatizada, foi preferível a utilização da analógica, pois além de possuir um custo monetário bem menor, ainda tem como objetivo mostrar de forma mais didática como ocorre a obtenção da posição final do martelo após a queda. Essa estratégia permite com que o usuário faça todos os devidos cálculos para a obtenção da energia de impacto que é absorvida pelo material, fazendo assim com que esse tenha um melhor entendimento do processo e funcionamento da máquina pendular.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção tem a finalidade de destacar a metodologia que foi utilizada no dimensionamento da máquina de impacto Charpy, os procedimentos e organização utilizados na realização dessa pesquisa, baseiam-se principalmente nas referências bibliográficas descritas anteriormente e nas normas que regem esse ensaio.

Desde o início foi pensado em um equipamento que retratasse o ensaio de impacto Charpy o mais próximo da realidade possível, buscando então um exemplar do modelo ideal que se tem comercialmente. Na Figura 7 é possível visualizar a máquina de ensaio e todos os seus componentes segundo a norma.

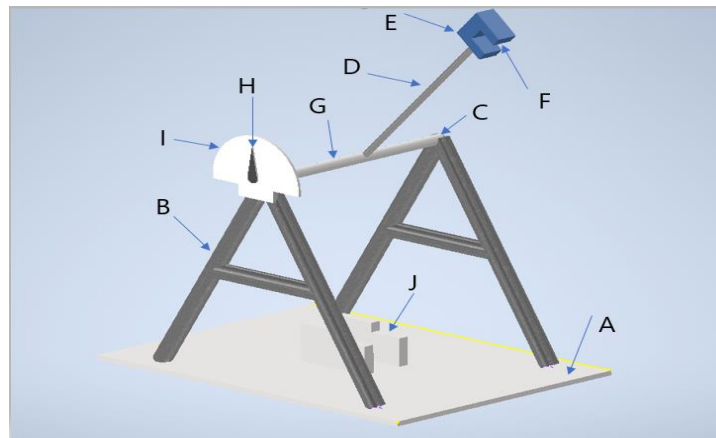
**Figura 7** – Modelo de máquina de impacto Charpy apresentado pela norma padrão.



Fonte: (ASTM D6110, 2018)

Com base na Figura 7 foi realizada a análise do que seria necessário para conseguir projetar um equipamento que pudesse retratar as funcionalidades gerais do ensaio de uma forma simples e que fosse possível sua confecção. A Figura 8 retrata o modelo que foi tomado como base para o dimensionamento dos componentes.

**Figura 8-** Representação da máquina de impacto e seus componentes.



**Fonte:** autoria própria.

Como pode ser observado na figura 8 a máquina foi dividida em 10 componentes de A J, de maneira a facilitar seu dimensionamento e confecção, estando esses descritos na Tabela 1.

**Tabela 1-** Descrição dos componentes da máquina de impacto.

Descrição	Componente
A	Base
B	Coluna
C	Mancal de rolamento
D	Haste
E	Martelo
F	Cutelo
G	Eixo
H	Ponteiro
I	Escala graduada
J	Apoio do corpo de prova

**Fonte:** autoria própria.

Considerações iniciais tiveram de ser adotadas para o desenvolver do projeto, algumas delas determinadas pela norma, como o comprimento do cutelo, o diâmetro e ângulo de contato, e outras foram determinadas pelo projetista como a energia de impacto, o angulo de queda, sendo essas baseadas no tipo de material que será ensaiado.

Com relação as considerações adotadas, vale ressaltar que tantas outras poderiam ser consideradas, como a massa do martelo, o comprimento da haste e entre outras, foi escolhido justamente essas, por conta da facilidade de serem encontradas na literatura. Dessa forma, foi utilizado as considerações apresentadas na Tabela 2 como ponto de partida para obtenção do dimensionamento do equipamento.

**Tabela 2-** Considerações iniciais para o projeto.

<b>Considerações</b>	<b>Valores</b>
Comprimento do cutelo	28mm
Diâmetro da ponta do cutelo	4,0 mm
Ângulo de contato com a peça	180°
Velocidade de impacto	4,0m/s
Ângulo de queda	150°
Energia pretendida	50J

**Fonte:** autoria própria.

Ainda nas considerações de projeto, foi realizado um estudo acerca dos materiais utilizados para a confecção desses elementos, chegando à escolha do aço SAE 1020 como material de trabalho. Essa escolha se deu devido a disponibilidade desse material no mercado e por atender principalmente as necessidades do projeto, algumas propriedades referentes a esse material e que serão utilizadas no decorrer desse estudo, encontram-se dispostas na Tabela 3 com base em Callister (2012).

**Tabela 3-** Propriedades do Aço 1020.

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
Limite de resistência a tração	440 MPa
Limite de escoamento	345 MPa
Modulo de elasticidade	200GPa
Densidade	$7,85 \times 10^6$ g/m <sup>3</sup>
Coefficiente de poisson	0,29
Redução de área	60%

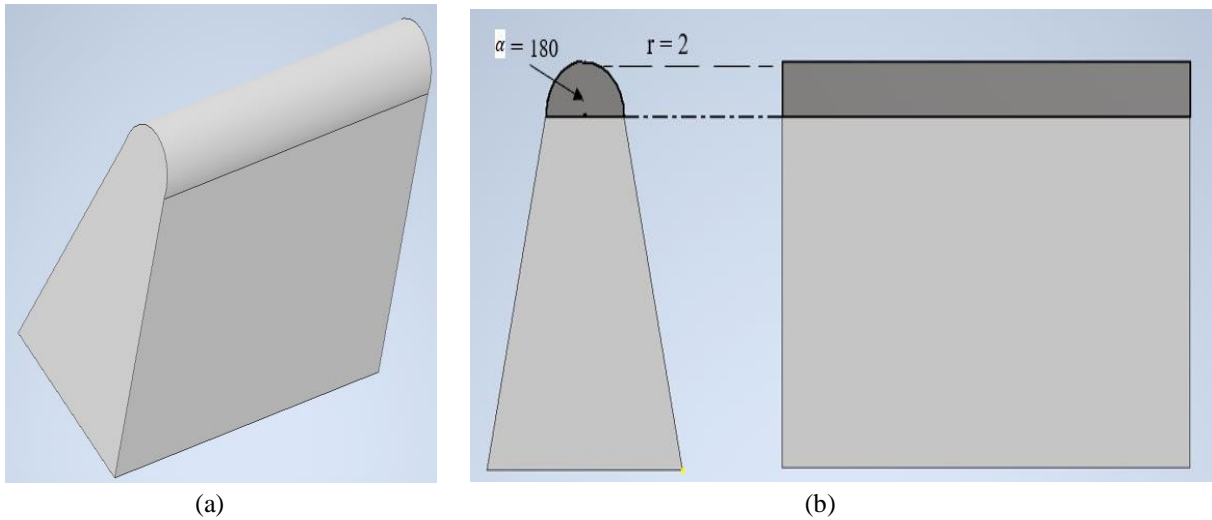
**Fonte:** autoria própria.

Com a estrutura determinada e as considerações destacadas foi realizado o dimensionamento dos componentes dessa máquina.

### **5.1. Dimensionamento do cutelo**

Nas Figuras 9 (a) e (b) é possível observar a geometria desejada do cutelo devido as considerações determinadas anteriormente.

**Figura 9** (a) e (b)- Descrição do cutelo.



**Fonte:** autoria própria.

Para obter a área da extremidade do cutelo que sofrerá o impacto no choque com o corpo de prova, é aplicado a equação 01 (ALMEIDA e SILVA, 2015):

$$A_c = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ} \cdot l \quad (01)$$

Onde:

$A_c$  - é a área de contato do cutelo com corpo de prova em  $m^2$ ;

$d$  - é o diâmetro da extremidade do cutelo em m ( $d = 0,004$  m);

$\alpha$  - é o ângulo da base da extremidade do cutelo ( $\alpha = 180^\circ$ );

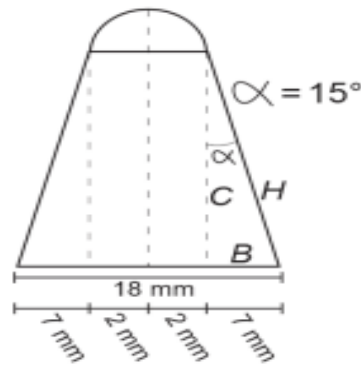
$l$  - é o comprimento do cutelo ( $l = 0,03$  m).

Com isso tem-se que:

$$A_c = \frac{\pi \cdot 0,004 \cdot 180^\circ}{360^\circ} \cdot 0,03 = 1,88 \times 10^{-4} m^2$$

Para encontrar a altura do cutelo foi utilizada a análise feita por Almeida e Silva (2015), no qual estes observaram a geometria conhecida do cutelo, e aplicaram as relações trigonométricas para encontrar as dimensões desejadas. Através da Figura 10 é possível observar como ocorreu essa etapa de obtenção de dados.

**Figura 10-** Medidas do cutelo



**Fonte:** (ALMEIDA e SILVA, 2015).

Dessa forma sabe se que:

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} \alpha &= \frac{B}{H} \quad \text{logo; } \operatorname{sen} 15^\circ = \frac{7}{H} & H &= 27 \text{ mm} \\ \operatorname{cos} \alpha &= \frac{C}{H} \quad \text{com isso: } \operatorname{sen} 15^\circ = \frac{C}{H} & C &= 26 \text{ mm} \end{aligned}$$

Percebe-se que a altura do cutelo é dada pela soma do valor do raio e o valor de C, logo como se sabe que o raio vale 2 mm, é obtido o valor de 28 mm para a altura do cutelo.

## 5.2. Dimensionamento do centro de percussão

O Centro de percussão ( $C_p$ ) é a distância do centro do eixo de rotação do pêndulo até o centro do cutelo, utilizando a norma ASTM E-23, é possível encontrar o centro de percussão através da equação da velocidade simplificada, conforme a equação 02.

$$C_p = \frac{v^2}{2g(1-\cos \beta)} \quad (02)$$

Onde:

$v$  - é a velocidade de impacto ( $v = 4 \text{ m/s}$ );

$\beta$  - é o ângulo de queda do martelo ( $\beta = 150^\circ$ ).

$g$  - é a aceleração da gravidade ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ );

Dessa forma:

$$C_p = \frac{4^2}{2*(9,81)(1-\cos(150))} \quad C_p \cong 0,43 \text{ m}$$

### 5.3. Massa do martelo

Para obtenção da massa do martelo foi utilizado a equação 03 de energia potencial, também conhecida como energia de impacto. Como esse projeto visa dimensionar uma máquina com 50 J de energia, é possível encontrar a massa utilizando a relação apresentada por Halliday et al (2014).

$$E = m_m \cdot g \cdot Cp \cdot (1 - \cos \beta) \quad (03)$$

Sendo:  $E$  a energia de impacto ( $E = 50$  J) e  $m_m$  a massa do martelo em kg;

$$50 = m_m \cdot 9,81 \cdot 0,44 \cdot (1 - \cos 150) \quad \text{Com isso: } m_m \cong 6,2kg$$

### 5.4. Material do cutelo

A altura de queda  $h$  do cutelo pode ser obtida utilizando a velocidade de 4m/s que se deseja chegar para atingir o corpo de prova. A altura pode ser encontrada utilizando a equação 04 básica da física.

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (04)$$

$$\text{Logo } h = \frac{4^2}{2 \cdot 9,81} \quad h \cong 0,8 \text{ m}$$

Segundo Norton (2013) a deformação estática ( $\delta_{est}$ ) do material, é o resultado da aplicação da força peso e pode ser calculada segundo a equação para deformação de uma barra tracionada, com isso obteve-se a deformação do material utilizando a equação 05.

$$\delta_{est} = \frac{P_m \cdot Lc}{Ac \cdot E} \quad (05)$$

Sendo  $P_m$  a força peso do martelo,  $Lc$  o comprimento do cutelo e  $E$  o módulo de elasticidade do SAE 1020 que possui valor descrito acima de 200 GPa.

$$\delta_{est} = \frac{(6,2 \times 9,81) \cdot 0,03}{1,88 \times 10^{-4} \cdot 200 \times 10^9} \quad \delta_{est} = 4,85 \times 10^{-8} m$$

Outra variável muito importante para o desempenho do projeto é saber com que força o martelo atinge o corpo de prova, sendo essa obtida com a utilização da equação 06.

$$Fi = P_m \sqrt{\frac{v^2}{g \cdot \delta_{est}}} \quad (06)$$

$$Fi = (6,2 \times 9,81) \sqrt{\frac{4^2}{9,81 \cdot 4,85 \times 10^{-8}}} \cong 353 \text{ kN}$$

A tensão  $\sigma$  que o cutelo sofre durante o ensaio depende da área de contato com o corpo de prova e da força de impacto, podendo então ser obtida com a utilização da equação 07.

$$\sigma = \frac{Fi}{Ac} \quad (07)$$

$$\sigma = \frac{353 \times 10^3}{1,88 \times 10^{-4}} \cong 1,87 \text{ GPa}$$

A tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ ) do material escolhido, o SAE 1020 é de 345 MPa (CALLISTER, 2012). Como a tensão que o cutelo sofre durante o ensaio é maior que a tensão admissível do material escolhido, ele sofreria deformação durante o processo.

Com base nesse novo fator de ineficiência, foi utilizado novamente a equação 07 para determinar a força que o cutelo pode empregar ao corpo sem que essa ultrapasse a tensão admissível do material. Foi multiplicado ainda, um fator de segurança ( $F_s$ ) igual a 1,5 para encontrar uma força menor do que a força admissível.

$$345 \times 10^6 = \frac{Fi}{1,88 \times 10^{-4}} \cdot 1,5 \text{ com isso; } Fi \cong 43 \text{ kN}$$

Com relação ao corpo de prova como mostrado anteriormente na figura 5, este apresenta uma geometria retangular, com comprimento de 55 mm e largura de 10mm. Logo é possível encontrar o momento (M) que atua sobre esse corpo utilizando a equação (08).

$$M = \frac{Fi \cdot c}{2} \quad (08)$$

Onde  $c$  é o centro do corpo de prova e vale 0,0275m, com isso.

$$M = \frac{43 \times 10^3 \cdot 0,0275}{2} = 595 \text{ Nm}$$

Segundo Almeida e Silva (2015) o momento de inércia do corpo de prova  $I_{cp}$  é obtido pela equação (09)

$$I_{cp} = \frac{a \cdot b^3}{12} \quad (09)$$

Onde  $a$  é a base e  $b$  a seção que deve se romper no corpo de prova, e equivalem a 0,01m e 0,008m respectivamente. sendo assim tem-se que:

O valor de  $b$  é igual 0,008m por que o corpo de prova possui 10 mm de espessura, mas existe o entalhe de 2mm a qual o martelo se choca que deve ser descontado.

$$I_{cp} = \frac{0,01 \cdot 0,008^3}{12} = 4,26 \times 10^{-10} m^4$$

Em posse dos valores dos momentos, foi encontrado o valor para a tensão máxima empregada ( $\sigma_{max}$ ) que o martelo aplica no corpo de prova, através da equação 10.

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I_{cp}} \quad (10)$$

$$\sigma_{max} = \frac{894 \times 0,004}{4,26 \times 10^{-10}} = 5,6 \text{ GPa}$$

É possível perceber que esse é um valor consideravelmente grande, e que teoricamente não necessitaria de tanto esforço para realizar ensaios em polímeros, porém faz-se necessário a obtenção desses valores para comprovação dos parâmetros dessas equações.

## 5.5. Dimensionamento da haste

A haste é o componente responsável por acoplar o martelo permitindo que ele possua o comprimento efetivo necessário para que adquira a energia necessária.

A haste é necessária também para empregar a energia ao corpo de prova pois possui um peso considerável, que ao deslocar potencializa a ação do martelo.

Foi escolhido uma barra de aço SAE 1020 comercial de 10 x 40 mm e 400 mm de comprimento, sendo possível então a partir dessas dimensões obter a massa da barra de aço, utilizando a equação (11) (HALLIDAY et al, 2014).

$$m_h = V \cdot \rho \quad (11)$$

Onde  $m_h$  é a massa da haste,  $V$  é o volume da haste e  $\rho$  a densidade do aço. Com isso tem-se que:

$$m_h = 0,01 \times 0,04 \times 0,4 \times 7,85 \times 10^6 = 1256g \cong 1,3kg$$

É necessário conhecer a tensão que atua sobre a haste no momento do impacto. Dessa forma foi realizado os mesmos passos do dimensionamento do cutelo.

Com isso para a obtenção do momento de inércia na haste foi utilizada a equação 09, onde  $a$  e  $b$  são, a altura da seção transversal e da base respectivamente.

$$I_h = \frac{0,01 \cdot 0,04^3}{12} \cong 6,8 \times 10^{-8} m^4$$

De acordo com Juvinali; Marshek (2008), para obter a deformação estática ( $\delta_{est}$ ) que ocorre ao material no durante impacto é utilizada a equação 12.

$$\delta_{est} = \frac{P_h l_h^3}{48 \cdot E \cdot I_h} \quad (12)$$

Onde:

$P_h$  - é o peso da haste [N];

$l_h$  - é o comprimento da haste em [m];

$$\delta_{est} = \frac{1,3 \cdot 9,81 \cdot 0,4^3}{48 \cdot 200 \times 10^9 \cdot 6,8 \times 10^{-8}} = 1,24 \times 10^{-6} m$$

Para encontrar a força de impacto na haste, é utilizada a equação 06 descrita acima, no qual para o cálculo do valor da força peso é utilizado a massa da haste.

$$F_i = (1,3 \times 9,81) \sqrt{\frac{4^2}{9,81 \cdot 1,24 \times 10^{-6}}} \cong 14,6 \text{ kN}$$

Com base na força encontrada é possível obter a tensão máxima atuante na haste, no momento do impacto, utilizando a equação 07, onde  $A_h$  é a área transversal da haste.

$$\sigma = \frac{F_i}{A_h} = \frac{14,6 \times 10^3}{0,01 \cdot 0,04} = 36,5 \text{ MPa}$$

## 5.6. Dimensionamento da coluna

Foi escolhido para compor a estrutura da coluna, tubos de diâmetro externo de 30mm e interno de 20mm, como esses são os pilares de sustentação e não possuem características estruturais definidas pela norma foi atribuído a esses um comprimento condizente com o projeto de 500 mm.

É necessário conhecer a força centrífuga que atua sobre a coluna para analisar se a mesma é menor que a força empregada pelo martelo sobre o corpo de prova, para provar que a estrutura está de acordo com as propriedades estáticas desejadas (SOUSA, 2018).

O momento de inércia de um tubo transversal é dado pela relação de diâmetros apresentada na equação 13.

$$It = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (13)$$

Onde:

$It$  – Momento de inércia de um tubo;

$D$  - é o diâmetro externo do tubo em m ( $D = 0,03$  m);

$d$  - é o diâmetro interno do tubo em m ( $d = 0,02$  m)

$$It = \frac{\pi(0,03^4 - 0,02^4)}{64} = 3,12^{-8}$$

Segundo Halliday (2014) a força centrífuga que atua sobre a estrutura pode ser dada pela equação 14.

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot It}{4l^2} \quad (14)$$

Onde  $l$  é o comprimento do tubo e  $E$  o módulo de elasticidade.

$$F_c = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times 3,12^{-8}}{4 \times 0,5^2} = 61,5 \text{ kN}$$

## 5.7. Dimensionamento do eixo

Conforme SHIGLEY *et al* (2005) citado por Almeida e Silva (2015). Para dimensionar o eixo foi utilizada a tensão admissível do material, representada pela equação 15. O momento ( $M$ ) é o peso do conjunto haste e martelo, multiplicado pelo centro de percussão da máquina. O material selecionado foi o SAE 1040 que possui uma tensão admissível de 290 MPa (ÇALLISTER, 2012).

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \cdot \sigma_{adm}}} \cdot FS \quad (15)$$

Sendo FS o fator de segurança = 5.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32((1,3+6,2) \cdot 9,81) \cdot 0,44}{\pi \cdot 290 \times 10^6}} \cdot 5 \cong 17 \text{ mm}$$

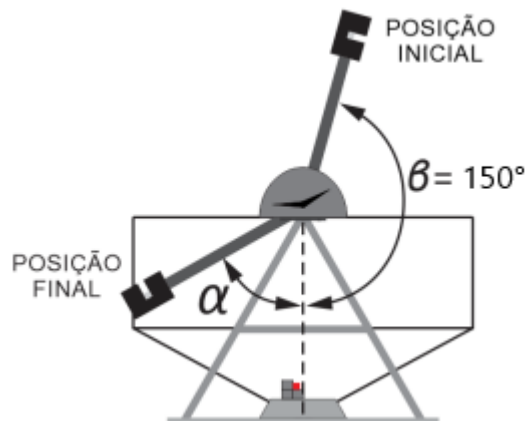
Mesmo essa parte do projeto não tendo suas especificações de diâmetro exigidas pela norma, foi preferível ao invés de adotar qualquer tubo, utilizar um fator de segurança relativamente grande para poder obter um diâmetro maior e com isso um aumento na rigidez do elemento para suportar os esforços do projeto.

É necessário ressaltar que o diâmetro inferior a esse obtido, dificultaria a realização de uma futura análise de rigidez nesse elemento.

## 5.8. Funcionamento

O funcionamento desse equipamento é considerado bem simples, de início tem-se o martelo a  $150^\circ$  e em seguida após o ensaio este encontra-se em uma nova posição a qual refere-se a um novo ângulo  $\alpha$  como mostrado na Figura 11.

**Figura 11-** Esquema do funcionamento do ensaio de impacto



**Fonte:** (ALMEIDA e SILVA, 2015.) - (modificado)

Para medir a energia que é absorvida pelo corpo de prova deve se utilizar a equação 16 (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2012).

$$E_i = m_m \cdot g \cdot [(Cp \cdot (1 - \cos \beta)) - (Cp \cdot (1 - \cos \alpha))] \quad (16)$$

Vale ressaltar que a utilização do ângulo  $\beta=150^\circ$  é para o caso em que se deseja a energia máxima de 50J, no entanto esse ângulo pode ser variado de acordo com o operador para cada material e conseqüentemente necessidade de energia empregada.

## 6. CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

Para a construção do equipamento, foi obedecida uma sequência de construção individual dos elementos que compõem essa máquina, para só então com todos os elementos de acordo com o planejado, realizar a montagem e finalização do equipamento. É importante ressaltar que alguns destes elementos foram encontrados prontos, realizando sua adequação ao projeto de construção.

Com relação ao modelo de projeto inicial apresentado na figura 8, após o dimensionamento dos componentes, esse teve de passar por algumas alterações para que se enquadrasse as condições de acesso aos materiais no comércio local, dessa forma, visando um projeto que buscasse explorar todos os detalhes e funcionalidades da máquina de impacto foi criado uma planta para o projeto retratado no Anexo A.

Sem fugir da ideia proposta inicialmente e mantendo os cálculos de dimensionamento, a partir da planta inicial foi criado um novo modelo de equipamento, no qual este pode ser observado na Figura 12.

**Figura 12-** Modelo real do equipamento de ensaio de impacto



**Fonte:** autoria própria.

A construção do equipamento aconteceu no laboratório de engenharia mecânica da universidade devido ao mesmo fornecer os meios necessários para o desenvolvimento do projeto. Para a fabricação e montagem dos componentes da máquina de impacto foram utilizados principalmente os processos de usinagem e soldagem, destacando a importância dos equipamentos utilizados da universidade, entre eles: a esmerilhadeira, furadeira de bancada, máquina de solda, e entre outros processos que levaram a confecção do equipamento.

Como dito anteriormente a construção e montagem do equipamento seguiu um planejamento individual de cada elemento que compõem a máquina, dessa forma essa sequência encontra-se retratada a seguir no passo a passo da confecção dos componentes.

### 6.1. Colunas de sustentação

As colunas de sustentação foram criadas a partir de tubos de seção retangular com dimensão de 30mm x 20mm, com parede de 1mm e comprimento de 58cm, essas colunas foram fixadas a uma barra horizontal de iguais dimensões, porém com o comprimento de 80cm. A representação desse componente pode ser observada de uma melhor forma através da Figura 13 (a) e (b).

**Figura 13 (a) e (b)**- Colunas de sustentação.



(a)



(b)

**Fonte:** autoria própria.

Para confecção desse elemento, foi realizado o corte das barras de aço com a utilização da esmerilhadeira, em seguida essas foram soldadas de acordo com a geometria desejada e por último lixadas para que o acabamento final com a pintura ocorresse da melhor forma possível.

## 6.2. Martelo e cutelo

Esse elemento foi confeccionado a partir de três chapas de aço 1020, cada chapa com dimensões de 12,5 cm x 22 cm e 10 milímetros de espessura, essas por sua vez foram encontradas numa empresa de venda de materiais usados, sendo devidamente tratadas e melhoradas para que pudessem ser utilizados no projeto.

As chapas foram pesadas e observou-se que o peso estava de acordo com o que foi estabelecido no projeto, que seria de 6,2kg, em seguida foram soldadas obtendo assim a geometria do martelo, essa é apresentada na Figura 14.

**Figura 14-** Martelo de impacto



**Fonte:** autoria própria.

Devido a geometria da chapa e a possibilidade encontrada por se tratar de três chapas de aço simétricas, foi prolongada a chapa do meio para que essa servisse como o próprio cutelo, esse elemento é melhor observado com a utilização da figura 15.

O cutelo como mostra a Figura 15, foi obtido através do processo de limagem da extremidade da chapa até alcançar a geometria desejada. De acordo com a norma, a superfície de contato do cutelo deve apresentar uma face de 2mm de diâmetro, a qual foi garantida com auxílio de dispositivo de medição adequado (paquímetro digital).

**Figura 15-** Cutelo acoplado ao martelo



**Fonte:** autoria própria.

### **6.3. Eixo**

O eixo utilizado no projeto foi um cubo traseiro de bicicleta de ferro com espaçador 36 furos, esse foi escolhido devido a atender as necessidades do projeto e desempenhar perfeitamente a função de rotação do martelo com o mínimo de atrito possível. Na Figura 16 é retratado o modelo de cubo utilizado.

**Figura 16-** Cubo traseiro de ferro com espaçador 36 furos.



**Fonte:** (catálogo de vendas- mercado livre).

#### 6.4. Haste

A haste do equipamento foi confeccionada a partir do mesmo material da estrutura, um tubo de seção retangular com dimensão de 30mm x 20mm, com parede de 1mm e comprimento de 32 cm, esse tubo foi limado até que fosse possível adentrar ao diâmetro do eixo, depois de adaptado ao eixo, foi realizada a soldagem desses dois componentes, o resultado desse procedimento pode ser observado com a observação da Figura 17.

**Figura 17-** Haste soldada ao eixo.



**Fonte:** autoria própria.

Em seguida foi soldada a outra extremidade do eixo ao martelo e realizado o processo de lixamento e pintura desses componentes, o resultado final da junção desses elementos pode ser observado na Figura 18.

**Figura 18-** Conjunto (haste, eixo e martelo)



**Fonte:** autoria própria.

## 6.5. Apoios do corpo de prova

Como dito anteriormente, de acordo com a norma, os apoios de corpo de prova devem possuir uma distância de 40mm entre eles. Dessa forma os apoios foram fixados nas colunas através do processo de soldagem, porém, antes disso afim de reforçar ainda mais essa estrutura das colunas para receber esses apoios. foi adicionada outra barra na horizontal a uma altura de 13cm a partir da base. A Figura 19 retrata a fixação dos apoios na coluna de sustentação.

**Figura 19-** Fixação do apoio do corpo de prova



**Fonte:** autoria própria.

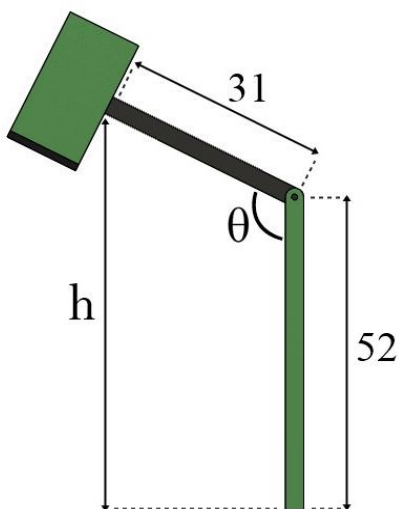
## 6.6. Medição (escala, ponteiro e marcador de posição)

Para conseguir obter a medida de energia absorvida pelo corpo de prova, é necessário conhecer os ângulos de queda e de rebote do pêndulo, dessa forma, foi realizado um estudo para obter a posição inicial de soltura do equipamento e com isso confeccionado o marcador de posição do equipamento.

Conhecendo a altura da coluna de 52cm e fazendo uma marcação de 31cm na haste foi obtido o marcador de posição inicial utilizando a equação 17, isso é possível variando o ângulo de queda para então conseguir obter a altura (h) necessária para realizar a soltura do martelo através da Figura 20 é possível visualizar como se deu essa análise.

$$h = 52 - \cos \theta * 31 \quad (17)$$

**Figura 20-** Relação angulação e altura.



**Fonte:** autoria própria.

Utilizando a equação 17 e alternando os ângulos num intervalo de 5° foram obtidos os valores para a posição do pêndulo, esses encontram-se dispostos na Tabela 4.

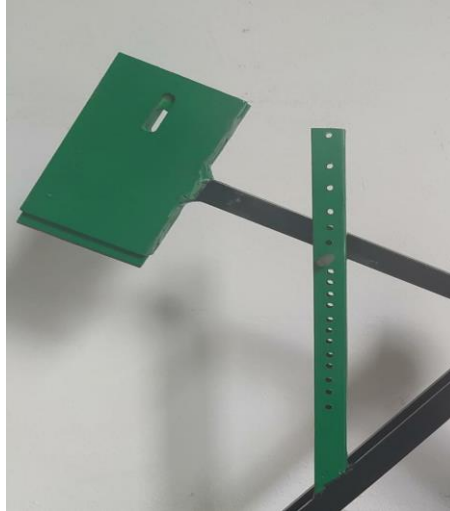
**Tabela 4-** relação- angulação e posição.

Ângulo	Posição (cm)	Ângulo	Posição (cm)
60°	36,50	110°	62,60
65°	38,89	115°	65,10
70°	41,39	120°	67,50
75°	43,97	125°	69,78
80°	46,61	130°	71,92
85°	49,29	135°	73,92
90°	52,00	140°	75,74
95°	54,70	145°	77,39
100°	57,38	150°	78,84
105°	60,02	----	----

**Fonte:** autoria própria.

Em posse dos valores de posição, foi construído o marcador de posição, de início foi selecionado outro tubo retangular para a confecção desse elemento, em seguida foram marcadas as medidas correspondentes as posições e realizada a furação para cada ângulo de soldura, por último esse elemento foi soldado a estrutura, pintado e acoplado um pino, esse é o responsável por segurar o martelo no ar na posição correta e consequentemente pela soldura do mesmo. Esse elemento finalizado pode ser melhor observado na Figura 21.

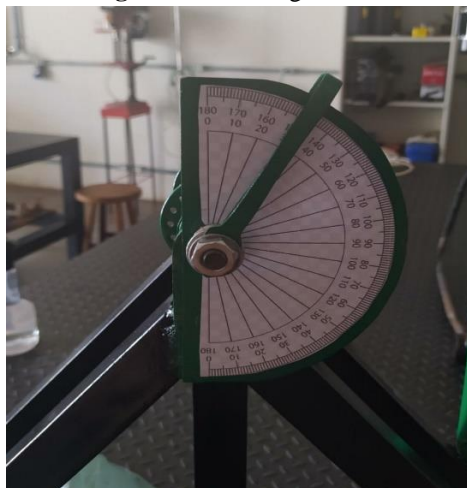
**Figura 21-** Marcador de posição de soltura



**Fonte:** autoria própria.

Após a confecção do marcador de posição inicial (ângulo), era necessário também conhecer a o ângulo final após o choque com o corpo de prova, pois através destes é possível obter a quantidade de energia absorvida pelo corpo de prova. Com base em tudo isso foi criado uma escala a partir de um transferidor de papel e foi acoplado a uma placa metálica. Esse procedimento é observado na Figura 22.

**Figura 22-** escala graduada.



**Fonte:** autoria própria.

Na figura 22 é possível perceber a presença do ponteiro, esse por sua vez, será o responsável por permitir a leitura do ângulo gerado pelo ensaio. O ponteiro foi acoplado ao cubo de maneira que se estenda ao outro lado da escala para que, com à ajuda de um elemento fixado no centro do eixo, possibilite a movimentação do ponteiro com o mínimo de atrito possível.

## 6.7. Equipamento final

Como dito anteriormente a construção do equipamento obedeceu diferentes etapas até a montagem final do equipamento, vale ressaltar que os procedimentos para a obtenção desta máquina levaram um tempo de trabalho consideravelmente alto, aproximadamente 34 horas trabalhadas. Na Tabela 5 é detalhado todo o cronograma de tempo de trabalho e as atividades desenvolvidas.

**Tabela 5-** Cronograma de atividades desenvolvidas.

<b>data</b>	<b>Intervalo de trabalho</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>
19/07/2021	14:00-18:00	Obtenção dos materiais a serem trabalhados e corte de tubos
20/07/2021	17:00-22:00	Lixamento e construção da coluna com a soldagem dos tubos
22/07/2021	14:00-18:00	Análise de projeto e confecção do martelo soldando as chapas
23/07/2021	14:00-18:00	Obtenção do eixo, confecção do cutelo com a limagem da chapa
26/07/2021	14:00-18:00	Confecção da haste, soldagem dos elementos eixo-haste-martelo
27/07/2021	14:00-18:00	Criação dos apoios dos apoios dos CP e soldagem na estrutura
28/07/2021	17:00-22:00	Confecção e soldagem do marcador de posição, escala e ponteiro
29/07/2021	14:00-18:00	Finalização do equipamento: Montagem final e pintura.

**Fonte:** autoria própria.

Com relação aos custos do projeto, sempre foi visado a confecção de um equipamento com baixo custo de produção, pra isso foram buscadas diferentes alternativas, entre elas o aproveitamento de materiais, compra de elementos com funcionalidades adequadas que atendessem o projeto, e entre outras. Dessa forma encontra-se disposto na Tabela 6 os gastos com os insumos utilizados na confecção do equipamento.

**Tabela 6-** Insumos utilizados na construção do projeto.

<b>Materiais</b>	<b>Valores (RS)</b>
Barra retangular	16,00
Chapas de aço	44,00
Eixo	18,00
Lixa	6,00
Lima	16,00
Tintas	30,00
<b>Total</b>	<b>130,00</b>

**Fonte:** autoria própria.

Vale ressaltar que, o que tornaria o projeto mais caro, seria a confecção dos elementos por parte dos processos de soldagem e usinagem, no entanto esse gasto foi evitado devido a instituição de ensino disponibilizar esses insumos para a realização desse trabalho.

As máquinas de ensaio de impacto mais simples comercialmente vendida custa em torno de 20.000,00 reais, sendo geralmente utilizada nas universidades um modelo superior a esse custo, logo quando comparado ao que foi gasto para produzir esse modelo didático fica evidente a discrepância com relação ao custo dos mesmos no final do processo.

Após a confecção e montagem de todos os componentes foi então obtido o equipamento. O resultado final da construção da máquina de ensaio de impacto encontra se representado na Figura 23

**Figura 23-** Máquina de ensaio de impacto de baixo custo



**Fonte:** autoria própria.

## **7. CONCLUSÃO**

A máquina de ensaio de impacto permite o estudo de peculiaridades acerca dos materiais que outros ensaios não disponibilizam, a principal delas a tenacidade que é medida de energia que o material absorve até falhar. Dessa forma isso reforça sua importância para o conhecimento das propriedades dos materiais

Outra funcionalidade extremamente importante desse ensaio é a capacidade de analisar os materiais para diferentes faixas de temperatura, com isso é capaz de estipular a temperatura em que os materiais apresentam a transição dúctil-frágil e como e isso afeta a capacidade do material em absorver energia e conseqüentemente falhar.

Com isso pode-se dizer que o ensaio de impacto é muito empregado na engenharia na seleção de materiais. Devido a capacidade do equipamento apresentar uma energia de impacto de 50J para uma angulação máxima de 150°, este se mostra eficiente quando o assunto é o estudo dos polímeros.

Ao final do trabalho foi possível constatar que o objetivo do projeto em construir um equipamento de ensaio de impacto de baixo custo foi concluído com sucesso, e que todas as etapas para a realização do mesmo, ocorreram como esperado.

Vale ressaltar ainda a importância desse projeto para o âmbito educacional da instituição, pois a mesma ainda não possuía um exemplar dessa máquina, o que de certa forma dificultava a absorção total do conhecimento. Dessa forma apesar da máquina de ensaio de impacto construída ser de proporções consideravelmente inferiores quando comparada aos modelos comerciais, esta irá cumprir com sua função principal, que é passar para os futuros alunos o conhecimento prático desse ensaio.

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Uma vez finalizado o equipamento é aconselhado como forma de validação dos resultados, a realização de ensaios como meio de comprovação, fica ainda a vontade de que nos trabalhos futuros desenvolvidos nesse equipamento, sejam feitos testes em diferentes polímeros, variando a temperatura dos corpos de prova e analisando os diferentes comportamentos, entre outras várias formas de aplicação dessa máquina, tudo isso afim de aprofundar os estudos acerca deste tipo de ensaio e desse equipamento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maycon; SILVA, Edson; **Dimensionamento de um Equipamento para Ensaio de Impacto Charpy**, Universidade do Rio Verde, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard D256-10. Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics**. Pennsylvania: ASTM, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard D6110- 18. Standard test method for determining the Charpy impact resistance of notched specimens of plastics**. Pennsylvania: ASTM, 2018.

ASTM E-23: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**. 2.ed., Vol 1.. São Paulo: Pearson, 1986.

CHITOLINA, Roberto.C; ANTON, Fernando,M; **dimensionamento e fabricação de um dispositivo para ensaio Charpy**, Horizontina, 2013.

DUARTE, Severino. **Metodologia básica para a produção de materiais de referência para calibração indireta de máquinas pendulares de impacto Charpy**. Rede Temática em engenharia dos materiais Ouro Preto, 2006.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime A; SANTOS, Carlos A; **Ensaio de Materiais**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012.

GELATTI, Matheus; **substituição do sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital**, Horizontina, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER. Jearl; **Fundamentos da Física**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.,Vol 1, 2014

JUVINALL, Robert C; MARSHEK, Kurt M; **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

MORAES, J. L *et al*; **sistema de aquisição de dados para a máquina de impacto charpy**, Holos, 2014.

MORAES, Vinicius; **projeto e construção de charpy utilizando a modelagem numérica da plataforma ansys no estudo comparativo entre ensaios numéricos e práticos a partir de diferentes Propriedades Mecânicas De Materiais Compósitos**, Ilha Solteira-SP, 2016.

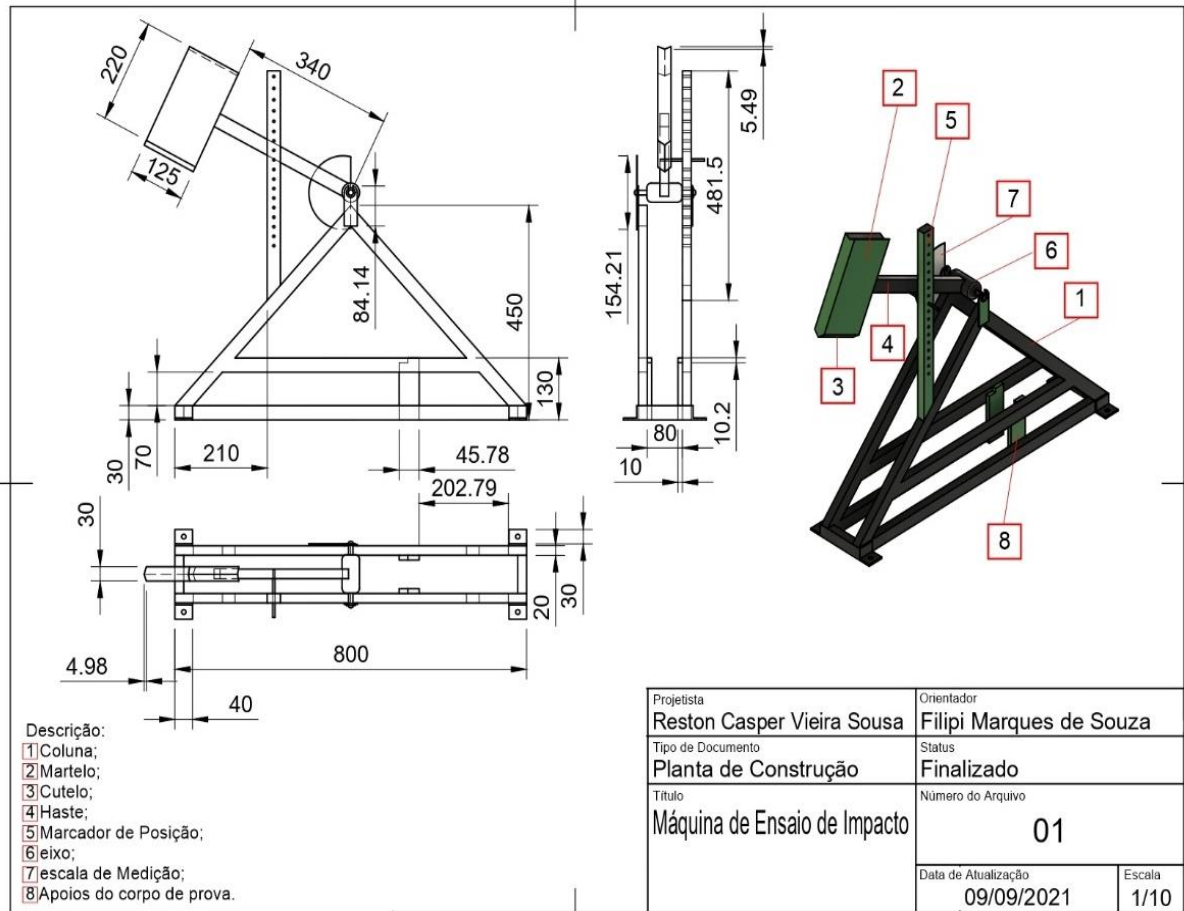
NORTON, Robert. L; **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 4.ed. Porto Alegre, Bookman Editora Ltda, 2013.

PANDOLFI, Alessandro; **avaliação do efeito da rugosidade na tenacidade ao impacto em aço carbono**, Vitória, 2016.

SOUSA, Sidney. **Desenvolvimento de pêndulo de impacto de baixo custo**. 2018. Monografia-Colegiado de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2018.

SOUZA, Sérgio A; **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. 5.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1982.

## ANEXO A- Planta inicial do projeto



Fonte: autoria própria.