



FACULDADE HORIZONTINA

MATHEUS RAÍ GELATTI

**SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA MÁQUINA DE
ENSAIO CHARPY DE ANALÓGICO PARA DIGITAL**

HORIZONTINA - RS

2016

FACULDADE HORIZONTALINA
Curso de Engenharia Mecânica

MATHEUS RAÍ GELATTI

**SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA MÁQUINA DE
ENSAIO CHARPY DE ANALÓGICO PARA DIGITAL**

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

ORIENTADOR: Me. Cristiano Rosa dos Santos

HORIZONTALINA - RS

2016



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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Substituição do sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de
analógico para digital”**

Elaborada por:

Matheus Raí Gelatti

**Aprovado em: 30/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Me. Cristiano Rosa dos Santos
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Esp. Charles Matheus Weschenfelder
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Me. Luis Carlos Wachholz
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA - RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Álvaro Gelatti e Ana Maria Borges, que sempre me apoiaram nos meus estudos, e toda minha família por me acompanhar durante esta caminhada.

AGRADECIMENTO

A Deus, por proporcionar uma vida com oportunidades e permitir a conclusão de mais um etapa. A família que sempre incentivou a busca pelo conhecimento e pelo seu apoio em todos os momentos desta jornada. Ao professor orientador deste trabalho Cristiano Rosa dos Santos que não mediu esforços em me ajudar no pouco tempo que tinha disponível, pela compreensão, amizade e transferência do conhecimento. Ao amigo Alessandro La Rocca Silveira pelo apoio, sua ajuda foi de grande importância. Aos demais professores da instituição que fizeram parte da minha vida acadêmica, proporcionando companheirismo e educação com qualidade. A todos um sincero muito obrigado.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias”

Roberto Shinyashiki

RESUMO

Este trabalho apresenta a substituição do sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital. O intuito do estudo é tornar as leituras dos parâmetros mais confiáveis e mais precisas. Com o objetivo de desenvolver um sistema de aquisição de dados, composto por um Arduino e um potenciômetro multivoltas, ilustrando os dados coletados em um *Display* LCD, de modo que se torne mais simples para o aluno visualizar os dados. A metodologia utilizada no estudo classifica-se como exploratória e aplicada, dessa forma adquirindo maior conhecimento para o desenvolvimento do projeto. O mesmo foi adaptado na bancada já existente da instituição, tendo sua estrutura principal inalterada. Por meio de literaturas referentes ao tema, procurou-se discursar sobre o ensaio de Charpy, ao sensor em questão e o software utilizado. Enfim, evidenciou-se que com a implementação do novo sistema de medição, o laboratório possuirá uma bancada mais sofisticada e com testes mais precisos.

Palavras-chave: Ensaio de Charpy. Arduino UNO. Sistema de Medição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Máquina de ensaio de impacto tipo Charpy	15
Figura 2: Posicionamento do corpo de prova em ensaios de impacto tipo Izod	16
Figura 3: Corpo de prova utilizado em ensaios de impacto tipo Izod.....	17
Figura 4: Tipos de Ensaio	18
Figura 5: Tipos de entalhe descritos pela ASTM E-23 para ensaio de impacto tipo Charpy.	19
Figura 6: Temperatura de Transição.....	21
Figura 7: Arduino UNO	24
Figura 8: Potenciômetro Multivoltas 10k	24
Figura 9: Planilha didática do Microsoft Excel.....	26
Figura 10: Ilustração a variação de uma grandeza física em um sensor analógico.....	28
Figura 11: Ilustração da leitura da posição de um objeto pelo encoder incremental.....	28
Figura 12: Componentes da Máquina de Charpy.....	32
Figura 13: Eixo danificado	33
Figura 14: Eixo novo.....	34
Figura 15: Sistema de medição antigo.....	35
Figura 16: <i>Display</i> LCD 16x2	35
Figura 17: Descrição dos ângulos.....	36
Figura 18: Sistema de travamento com fechadura de porta.....	37
Figura 19: Solenoide tipo trava	37
Figura 20: Limitador do martelo	38
Figura 21: Circuito eletrônico em fase de teste	39
Figura 22: Programa responsável pela criação do código.....	40
Figura 23: Variáveis do Cálculo	41
Figura 24: Transformação de Radianos para Graus	41
Figura 25: Equação da energia absorvida pelo corpo de prova	41
Figura 26: Comunicação entre Arduino e LCD.....	42
Figura 27: Inicialização do LCD	42
Figura 28: Limpar o LCD.....	42
Figura 29: Formatação do <i>Display</i>	42
Figura 30: Mapeamento.....	43
Figura 31: Armazenamento do maior valor	43
Figura 32: Máquina de Charpy após as alterações	44
Figura 33: Caixa de acabamento com os componentes.....	46
Figura 34: Componentes soldados na placa perfurada.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes da Máquina Analógico.....	32
Tabela 2: Componentes da Máquina Digital	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 OBJETIVO GERAL	13
1.6 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 ENSAIO DE IMPACTO CONVENCIONAL	14
2.2 ENSAIO DE IMPACTO EM CORPO DE PROVA ENTALHADO	17
2.3 TÉCNICAS DE ENSAIO DE IMPACTO	17
2.4 IMPACTO	19
2.5 ENSAIO DE IMPACTO CHARPY INSTRUMENTADO	20
2.6 ENSAIO DE IMPACTO A BAIXAS TEMPERATURAS	21
2.6.1 Fatores que influenciam na temperatura de transição	22
2.6.2 Resfriamento do corpo de prova	22
2.7 INSTRUMENTAÇÃO DIGITAL	23
2.7.1 Arduino	23
2.7.2 Potenciômetro	24
2.7.3 Microsoft Excel	25
2.7.4 Macros	26
2.8 SENSORES	27
2.8.1 Sensores Analógicos	27
2.8.2 Sensores Digitais	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	29
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	29
3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	30
3.4 COLETA DE DADOS	30
3.5 ANÁLISE DE DADOS	30

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 MÁQUINA DE CHARPY ANTES DAS ALTERAÇÕES.....	31
4.2 ALTERAÇÕES DA BANCADA.....	33
4.2.1 Substituição do Eixo	33
4.2.2 Substituição do Sistema de Medição	34
4.2.3 Substituição do Sistema de Travamento	36
4.2.4 Limitador do Martelo	38
4.3 FASE DE TESTES.....	38
4.4 PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO	40
4.5 INTERPRETAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO	40
4.5.1 Programação Equação	41
4.5.2 Programação LCD	41
4.5.3 Mapeamento	43
4.5.4 Armazenamento do Maior Valor do Arduino	43
4.6 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	43
4.7 MÁQUINA DE CHARPY APÓS AS ALTERAÇÕES.....	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6 MELHORIAS PARA O FUTURO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

Muitos anos atrás, a construção dos objetos era realizada de forma artesanal, não sendo possível ter um controle de qualidade para os produtos fabricados. Dessa maneira, só era possível avaliar a qualidade de um produto por meio do seu uso. A avaliação da qualidade da peça ocorria após seu término, levando-se em consideração o tempo de durabilidade da ferramenta.

Porém, atualmente, é de extrema importância prever o comportamento estrutural do material mediante esforços mecânicos, e é por este motivo que engenheiros desenvolvem várias técnicas de ensaios para prever o comportamento dos materiais em condições de trabalho.

Buscando utilizar métodos confiáveis, que expressem com segurança os parâmetros de comportamento, o ensaio em estudo será o tipo Charpy, o qual remete o comportamento do material em diversas situações de uso e a compreensão sobre as fraturas, através do impacto de um martelo no corpo de prova.

O método de ensaio Charpy tem a finalidade de determinar a sensibilidade e resistência dos materiais quando submetido a uma determinada carga de impacto. O seu principal objetivo é medir a quantidade de energia absorvida pelo material durante a fratura. É de extrema importância a realização desse ensaio para garantir a segurança, confiabilidade e qualidade dos mais diversos materiais. É muito utilizado no setor automobilístico, de aeronaves e em peças específicas utilizadas na indústria.

As principais vantagens do ensaio de Charpy são a facilidade do ensaio, baixo custo com a execução e simplicidade. Portanto, percebe-se que as informações retiradas por meio do ensaio Charpy convencional são poucas e imprecisas. Com isso, a instrumentação correta da máquina Charpy disponibiliza um acervo maior de informações, aumentando a confiabilidade dos resultados (MORAES et. al., 2014).

A automação mecanizada faz uso de sensores, sistemas mecânicos e software, sendo monitorados e controlados pelo ser humano. Com o automação do ensaio, é possível ter um maior controle no processo, obtendo os dados de forma automática.

Existem máquinas de Charpy instrumentadas em escala comercial, sendo todas de custo elevado e importadas. Não se encontra nenhuma instituição ou empresa que disponibilize a instrumentação de pêndulos de Charpy com as informações de um ensaio instrumentado através de um baixo investimento (LUCENA e MARTINS, 2006).

1.1 TEMA

O presente estudo será a implementação de um sistema digital na Máquina de ensaio Charpy.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este presente trabalho tem como objetivo implantar um sistema digital utilizando um mecanismo automático. Os principais componentes do mecanismo são: Potenciômetro, Sistema I/O (entrada e saída) e processamento. Para a correta implementação é importante realizar uma pesquisa aprofundada sobre esses dois componentes.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A automação do processo de ensaio de impacto e a correta instrumentação da máquina de impacto Charpy permite aumentar o número de informações coletadas no ensaio, aumentando consideravelmente a confiabilidade, a precisão e a segurança dos resultados obtidos.

A instrumentação digital da bancada de ensaio Charpy, permitirá que os resultados desses ensaios sejam mais precisos e de melhor manipulação pelos acadêmicos. Assim como, sua operação se tornará mais fácil e segura.

Diante disso, pretende-se responder a seguinte questão: Com a implementação do sistema digital, o Ensaio de Charpy apresentará resultados mais precisos?

1.4 JUSTIFICATIVA

Esse projeto justifica-se pela necessidade de se obter dados mais precisos dos ensaios de impacto e oferecer uma forma simples e clara para o aluno analisar esses dados.

Com o novo sistema, o ensaio fica mais didático e de fácil visualização para o aluno. Desse modo, possibilitando que o conhecimento adquirido em sala de aula possa ser posto em prática.

Para o Engenheiro Mecânico, é importante porque contribui para o crescimento e desenvolvimento profissional e pessoal, pois exige conhecimento técnico de dimensionamento mecânicos, programação e instrumentação. Como registro final, a bancada ficará na FAHOR para futuros estudos dos acadêmicos.

1.5 OBJETIVO GERAL

Este projeto tem por objetivo geral alterar o sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital. Alterando o sistema antigo que era composto por uma placa metálica com escala graduada adesivada e por um ponteiro de UHMW (polietileno de ultra alto peso molecular) para um sistema digital utilizando o Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única) e criar um sistema de aquisição de dados, de forma que estes possam ser visualizados em um *Display* LCD.

1.6 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos seguidos para atingir o objetivo geral são:

- Fazer estudo sobre Máquinas de ensaio Charpy e seu princípio de funcionamento;
- Realizar teste para verificar o funcionamento do sistema;
- Desenvolver pesquisa bibliográfica sobre ensaio de impacto, Arduino e o potenciômetro que serão utilizados na bancada;
- Construir e programar um sistema de aquisição de dados com base na plataforma Arduino e integrá-lo na bancada.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O comportamento dúctil-frágil dos materiais pode ser mais abrangentemente caracterizado por ensaio de impacto. O impacto ocorre por meio da queda de um pêndulo ou um martelete, de uma altura estipulada, sendo que a carga nesse ensaio é empregada num corpo de prova na condição de esforços por choque (dinâmicos) (DALCIN, 2007).

Pelo referido autor, existem três motivos principais que contribuem para o aparecimento de fratura frágil em materiais que geralmente à temperatura ambiente são dúcteis:

- Existência de um estado triaxial de tensões;
- Baixas temperaturas;
- Taxa ou velocidade de deformação elevada.

Com a presença de um entalhe obtém-se um estado triaxial de tensões.

2.1 ENSAIO DE IMPACTO CONVENCIONAL

Realizar um ensaio de impacto tem a finalidade de submeter um material ou objeto a situações reais de uso, que simulam realmente os esforços que eles vão sofrer, chegando aos seus limites mais extremos (COSTA, 2000).

Atualmente existem ensaios de impactos para diversas situações, desde impacto de baixas velocidades até impacto a velocidades hipersônicas. Dentre estes estão os ensaios de impacto tipo Charpy e tipo Izod (CALLISTER, 2002).

Segundo Colpaert (2008), o principal objetivo deste tipo de ensaio é calcular a quantia de energia absorvida pelo material durante a fratura, avaliando assim sua tenacidade ao impacto.

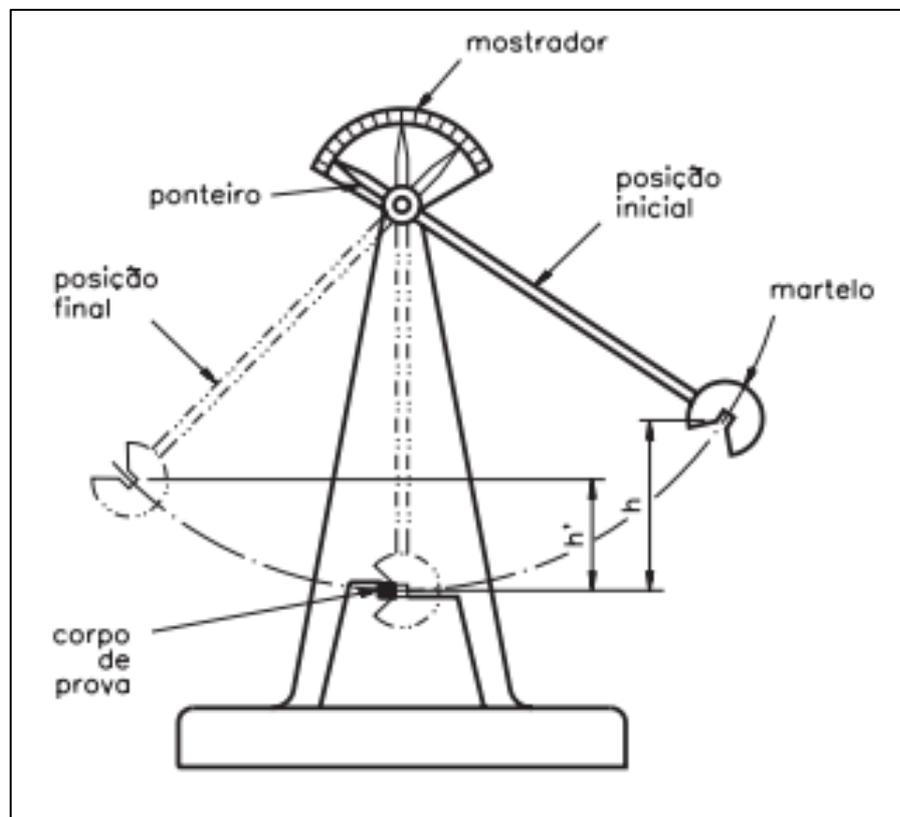
Os ensaios tecnológicos e mecânicos são utilizados para a determinação das propriedades dos materiais. Eles buscam não apenas medir suas propriedades, mas também obter dados comparativos entre eles, determinar a adequação do material para o emprego desejado e estabelecer a influência das condições de fabricação nestes materiais. De modo que o resultado de um ensaio possa refletir, com a máxima fidelidade, o comportamento e propriedades de um material, são

necessários que sejam observadas especificações, normas e padronizações tomadas como referências em sua execução (CHIAVERINI, 1986).

O ensaio utiliza uma pequena parte da estrutura para análise, fornecendo assim poucas informações e resultado de caráter comparativo. Desta maneira, as informações obtidas são apenas uma indicação qualitativa a respeito do comportamento dúctil-frágil dos materiais (TÓTH, ROSSMANITH e SIEWERT, 2002).

A Figura 1 mostra uma máquina tipo Charpy com o nível de energia absorvida pelo material antes da ruptura e seus principais componentes.

Figura 1: Máquina de ensaio de impacto tipo Charpy



Fonte: Callister, 2002, p.144.

Segundo Dalcin (2007), a técnica de ensaio de impacto Charpy é destrutiva, pois se caracteriza por submeter uma força repentina e brusca ao corpo ensaiado, que deve rompê-lo.

Para começar o ensaio, o martelo é erguido a uma estipulada altura, onde obtém uma energia potencial gravitacional inicial. No instante em que o pêndulo é liberado, a aresta montada sobre o mesmo colide e fratura o corpo de prova diretamente no entalhe, no qual tem a objetivo de atuar como um ponto

concentrador de tensões, e após isso continua seu curso até determinada altura, inferior que a primeira, onde apresenta uma nova energia potencial gravitacional (CALLISTER, 2002).

A diferença entre as energias potenciais gravitacionais antes e após o impacto representa a energia absorvida pelo corpo de prova, necessária a ruptura do mesmo (CALLISTER, 2002).

O ensaio de impacto Charpy não instrumentado, ou seja, convencional, não é considerado um ensaio muito eficaz e preciso, por essa razão é aconselhado efetuar o ensaio de impacto mais de uma vez, pois os resultados obtidos podem ser diferentes para o mesmo tipo de corpo de prova. Dessa maneira, é necessário realizar em média três ensaios para se obter uma média aceitável como resultado (SOUZA, 1982).

O ensaio tipo IZOD é bem similar ao ensaio tipo Charpy. Uma das diferenças está no posicionamento e nas dimensões do corpo de prova. O entalhe no corpo de prova IZOD tem a mesma forma do Charpy tipo A, mas não é centralizado. Em relação ao posicionamento, o corpo de prova é engatado verticalmente na máquina de ensaio. As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente o posicionamento e as dimensões do corpo de prova.

Figura 2: Posicionamento do corpo de prova em ensaios de impacto tipo Izod

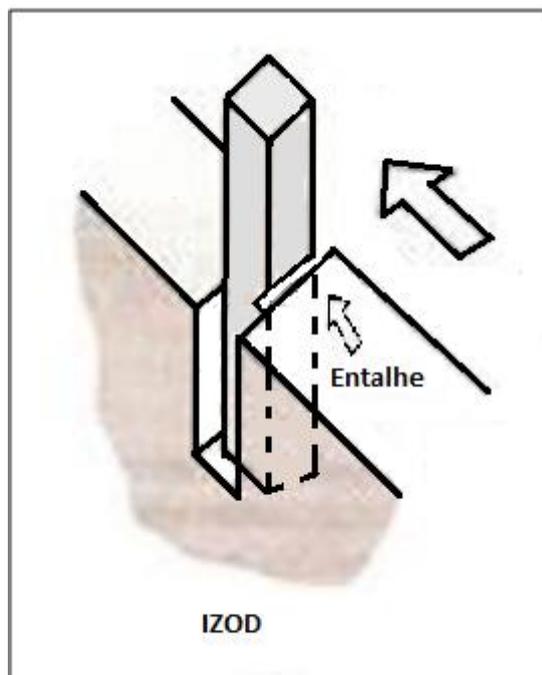
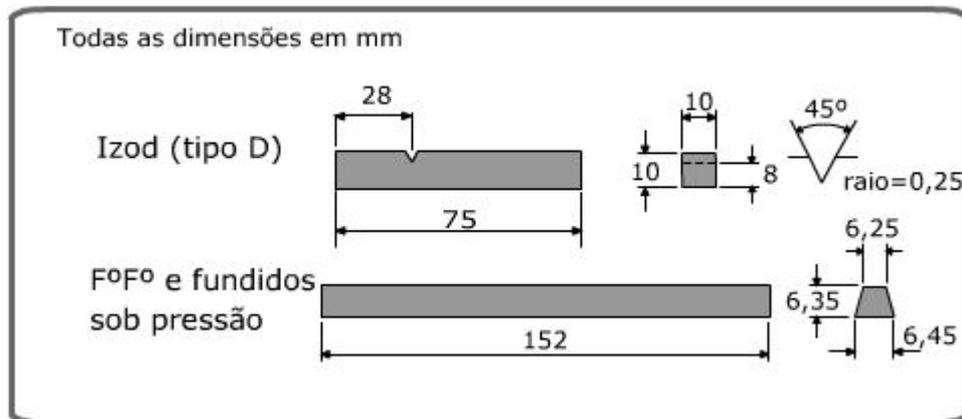


Figura 3: Corpo de prova utilizado em ensaios de impacto tipo Izod



Fonte: Souza, 1982

Os corpos de prova devem possuir seção quadrada com 10 mm de lado e comprimento de 75 mm . O entalhe é efetuado a 28 mm da extremidade e tem a forma de V, como pode ser visualizado na Figura 3.

2.2 ENSAIO DE IMPACTO EM CORPO DE PROVA ENTALHADO

O ensaio de impacto é um dos ensaios mais empregados para o estudo de fratura frágil nos metais. Esse é um ensaio dinâmico e usado principalmente para materiais utilizados em baixas temperaturas, como teste de aceitação do material (SOUZA, 1982).

Conforme o mesmo autor, o corpo de prova é padronizado e provido de um entalhe para identificar a sua ruptura, o entalhe então gera um estado triplo de tensões, que é suficiente para ocasionar uma ruptura de caráter frágil, porém apesar disso, não pode medir satisfatoriamente os componentes de tensões existentes, que podem variar de acordo com o metal usado. Desse modo, o ensaio de impacto se torna vantajoso apenas para comparação de materiais ensaiados nas mesmas condições.

2.3 TÉCNICAS DE ENSAIO DE IMPACTO

As técnicas Charpy e Izod são dois tipos de ensaios padronizados, foram idealizados e são ainda utilizados para medir a energia de impacto, sendo também

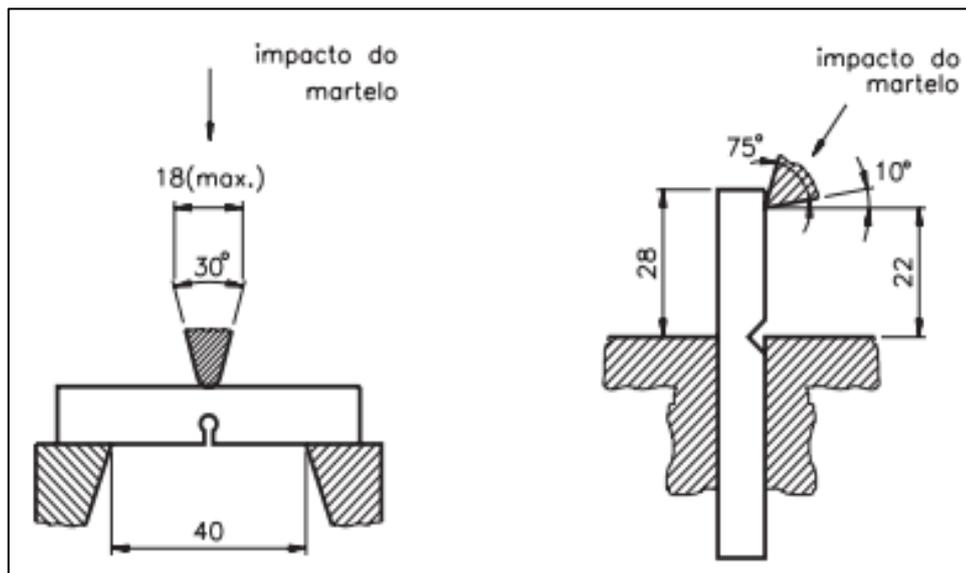
chamada de tenacidade ao entalhe. A técnica Charpy do entalhe “V” é a mais usada nos Estados Unidos (CALLISTER, 2002).

Segundo o mesmo autor, nas duas técnicas mencionadas, o corpo de prova tem o formato de uma barra com seção reta quadrada, na qual é usinado um entalhe com formato em “V”.

Para o mesmo, este ensaio consiste na colisão de um martelo pendular com um corpo de prova de seção transversal quadrada, duplamente apoiado horizontalmente na máquina de ensaio e entalhado no centro.

Os tipos de ensaios mais utilizados são o de Charpy e Izod. A diferença está no golpe, no ensaio de Charpy o golpe é desferido na face oposta ao entalhe e no Izod é desferido no mesmo lado (DALCIN, 2007). Isso é demonstrado na Figura 4 que segue.

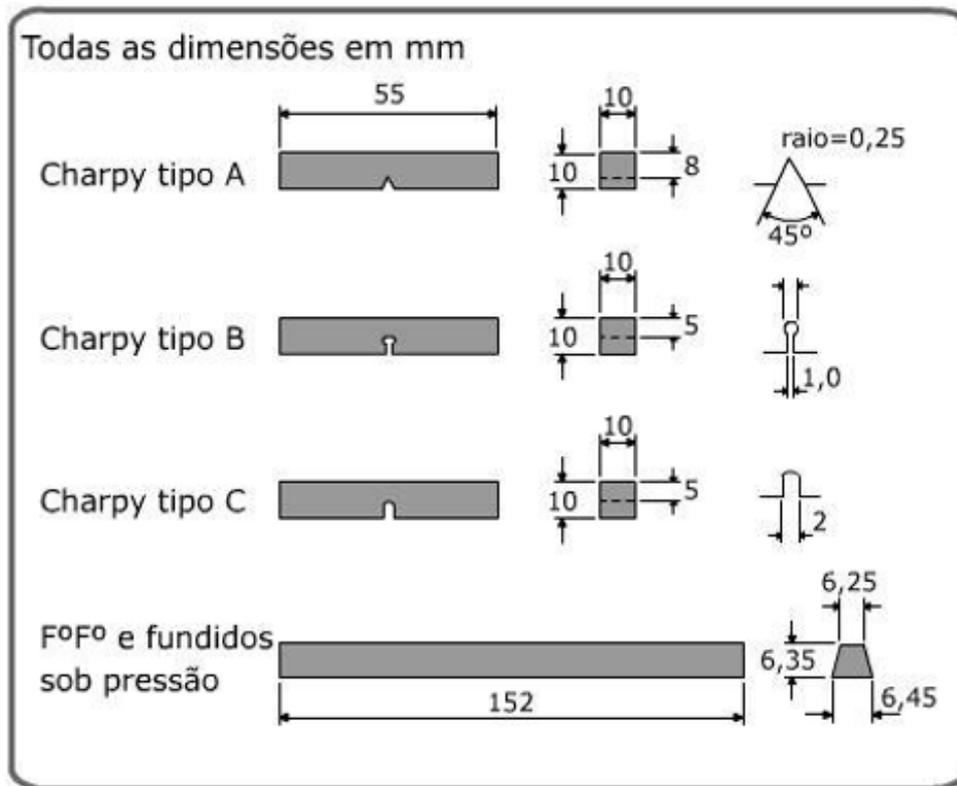
Figura 4: Tipos de Ensaio



Fonte: Dalcin, 2007, p. 35.

Os corpos de prova entalhados para ensaio Charpy são subdivididos em três tipos, de acordo com a forma do entalhe: tipo A, tipo B e tipo C. Todos possuem comprimento igual a 55 milímetros e seção quadrada de 10 mm. Para Dalcin (2007), o entalhe do corpo de prova é feito bem no meio. O do tipo A é em forma de V, o do tipo B é em forma de uma fechadura e o do tipo C é em forma de U invertido, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5: Tipos de entalhe descritos pela ASTM E-23 para ensaio de impacto tipo Charpy



Fonte: Souza, 1982.

Pela análise da Figura 5, pode-se perceber que os três tipos diferentes de corpo de prova, devem possuir a mesma área de seção transversal e o mesmo comprimento, alterando apenas o tipo de entalhe (MORAES et. al., 2014).

Para melhores resultados é preciso escolher o tipo mais adequado do entalhe do corpo de prova na hora de realizar o ensaio. Os entalhes mais profundos ou mais agudos são utilizados nos ensaios mais dúcteis ou com velocidades menores de ensaio (MORAES et. al., 2014).

2.4 IMPACTO

Segundo Shigley, Mischke e Budynas (2005), uma força externa aplicada a uma peça ou estrutura é denominada carga de impacto, caso o tempo de aplicação for menor a um terço do menor período de vibração natural da peça ou estrutura. Do contrário, ela é chamada simplesmente de carga estática.

Na engenharia mecânica, existem impactos em partes de vários tipos de máquinas, como amortecedores da suspensão de automóveis, caixas de câmbio (impacto torcional), martelos de forjamento e pistões e bielas de motores de combustão interna (CHIAVERINI, 1986).

2.5 ENSAIO DE IMPACTO CHARPY INSTRUMENTADO

A instrumentação da máquina de impacto Charpy tem sido muito analisada nos últimos anos. Existem alguns trabalhos de pesquisadores com o objetivo de melhorar a coleta de dados através de sensores eletrônicos colocados juntos à máquina de Charpy. O ensaio padronizado, sem sensores, é definido pela clareza do funcionamento e pela conservação da energia mecânica. Portanto, existe uma relativa limitação dos resultados quantitativos medidos com a prática do ensaio (MORAES et. al., 2014).

Neste sentido, Figueiredo (2004) diz que com a instrumentação da máquina de Charpy é possível fazer análises dos esforços envolvidos no decorrer do impacto através da curva força x tempo.

Por outro lado, Moraes et. al. (2014) corroboram dizendo que com a correta automação da máquina, é possível calcular a aceleração do martelo durante a execução do ensaio e através disso calcular a força necessária para fraturar o corpo de prova, além da resistência de impacto e da energia. Pode-se também identificar a variação da força ao longo da realização do ensaio de impacto e com isso observar as características mecânicas específicas de diferentes materiais. É possível também, a realização de um estudo comparativo com um corpo de prova do mesmo material, sendo submetido ao ensaio em diferentes temperaturas.

Desta maneira, conforme os autores citados, percebe-se que o ensaio realizado na máquina de ensaio Charpy torna-se mais proveitoso quando existe uma instrumentação digital à máquina, com isso é possível obter maiores informações sobre o ensaio.

Complementam Moraes et. al. (2014), que com a automação da máquina de impacto Charpy, as áreas de Engenharia e Ciência dos materiais e a área da automação terão muitos benefícios.

Para os autores a maior vantagem da automatização do processo se encontra no domínio da tecnologia, que permite ter um maior controle do processo e integração com outros sistemas, gerando novos trabalhos.

Ainda, dizem que para a automação da máquina são necessárias à instalação de sensores eletrônicos, além da utilização e implementação de um software específico e de um hardware.

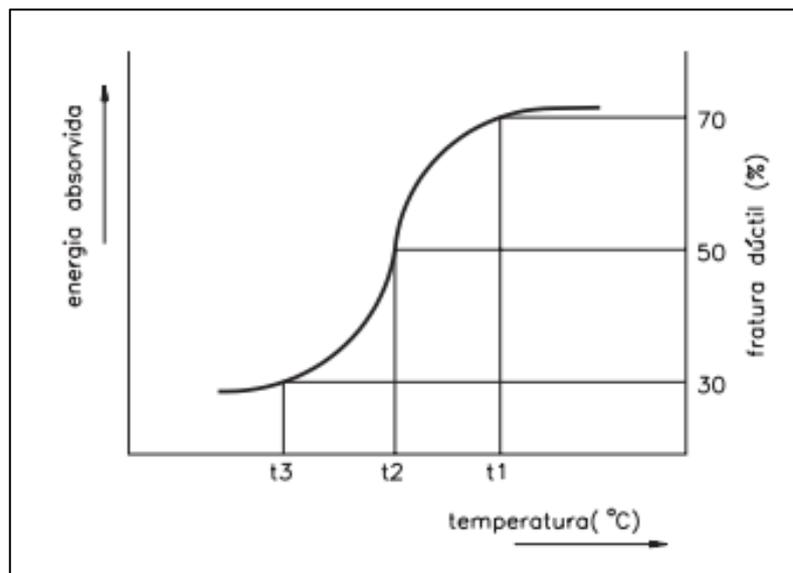
2.6 ENSAIO DE IMPACTO A BAIXAS TEMPERATURAS

O ensaio de impacto é muito utilizado nas indústrias bélica e naval, e também em construções que deverão suportar baixas temperaturas. A temperatura influencia muito a resistência de alguns materiais ao impacto (DALCIN, 2007).

Pelo referido autor, ao praticar ensaios de impactos em metais, observou-se que há uma faixa de temperatura levemente pequena, na qual a energia absorvida pelo corpo de prova cai notavelmente. Esta faixa nomeia-se temperatura de transição.

Conforme o mesmo, pode-se visualizar o comportamento do material quanto ao tipo de fratura (frágil ou dúctil), através do gráfico que representa a temperatura de transição.

Figura 6: Temperatura de Transição



Fonte: Dalcin, 2007, p.37.

Se apresenta a interpretação da Figura 6 nas palavras de Dalcin (2007, p.37):

A temperatura T1 corresponde à fratura 70% dúctil e 30% frágil. A temperatura T3 corresponde à fratura 30% dúctil e 70% frágil. E a temperatura T2 é o ponto no qual a fratura se apresenta 50% dúctil e 50% frágil. O intervalo de temperatura de transição corresponde ao intervalo entre T1 e T3.

Não são todos os metais que apresentam uma transição dúctil-frágil. Os metais que apresentam estrutura cúbica de face centrada (CFC), que possuem ligas de cobre e ligas de alumínio, que ficam dúcteis mesmo a temperaturas exageradamente baixas. No entanto, metais com estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) e hexagonal compacta (HC) apresentam a transição dúctil-frágil. Para esses tipos de metais, a temperatura de transição depende tanto da composição química da liga quanto da microestrutura (DALCIN, 2007).

2.6.1 Fatores que influenciam na temperatura de transição

Para Dalcin (2007), os fatores que influenciam na temperatura de transição são os seguintes:

- Elementos de liga;
- Encruamento;
- Retirada do corpo de prova;
- Tratamento térmico;
- Impurezas;
- Tamanho do grão;
- Processo de Fabricação.

2.6.2 Resfriamento do corpo de prova

Os corpos de prova devem ser resfriados até a temperatura desejada para que possam ser utilizados no ensaio (DALCIN, 2007).

Uma maneira para obter o resfriamento, segundo o autor, consiste em um mistura de álcool e gelo seco, outra forma é mergulhar o corpo de prova em um tanque contendo nitrogênio líquido, por aproximadamente 15 minutos, que permite atingir temperaturas de até -70°C.

2.7 INSTRUMENTAÇÃO DIGITAL

A instrumentação digital é possível utilizando: Arduino, Potenciômetro, Microsoft Excel e Macros.

2.7.1 Arduino

O Arduino é visto como uma plataforma de computação física, baseado em uma placa interligada a um micro controlador, constituída de entradas/saídas (digitais ou analógicas) micro controladas e desenvolvidas sobre um banco de dados que simplifica a escrita de programação, usando com base a linguagem C++ (GUIMARÃES et. al., 2010).

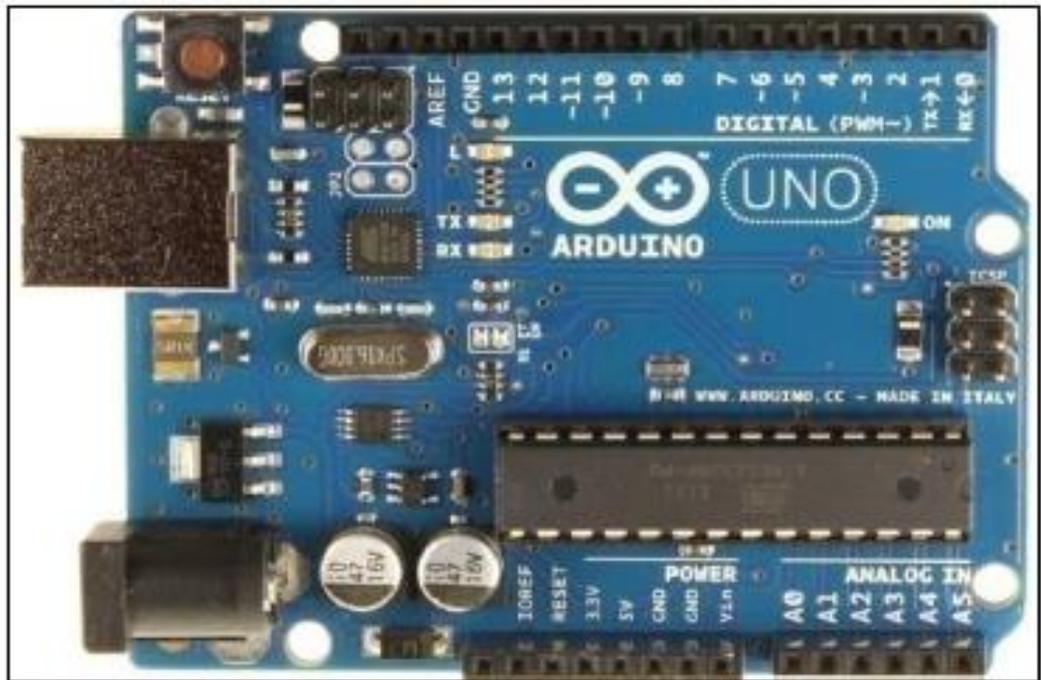
É um projeto Open-Source que engloba tanto a parte de software, como o hardware, e tem como objetivo fornecer uma plataforma para prototipação de projetos interativos utilizando um micro controlador (JUSTEN, 2009).

O Arduino constitui-se de um micro controlador de placa única e de um software para programá-lo. O hardware é constituído de um processador Atmel AVR, regulador linear de 5 Volts e um cristal oscilador. A placa inclui os pinos de entrada e saída em uma junção padrão para simplificar a conexão de circuitos externos que adicionam novas funções. O software trata-se de uma interface de programação para desenvolvimento do firmware do micro controlador e do gerenciador de inicialização (bootloader) que é realizado na própria placa do Arduino (GOMES e TAVARES, 2013).

Conforme McRoberts (2010), o Arduino é considerado um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre dispositivos e os componentes externos ligados a ele. Esse é considerado um sistema que pode interagir com o seu ambiente por meio de software e hardware.

Este projeto utiliza o Arduino UNO, conforme podemos observar na Figura 7.

Figura 7: Arduino UNO



Fonte: (www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno).

2.7.2 Potenciômetro

Sensores são dispositivos que captam a energia ao seu redor, esta energia pode ser cinética, luminosa ou térmica. Desta maneira, o sensor relaciona essas informações de acordo com o tipo de grandeza que precisa ser medido como: pressão, temperatura, aceleração e velocidade (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011).

O sensor utilizado neste projeto é o potenciômetro que é ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Potenciômetro Multivoltas 10k



Fonte: (www.proesi.com.br/potenciometro-precisao-bourns-3590s-2-103-10k.html).

Neste sentido, Mileaf (1982) diz que todo resistor que suporte ajustes frequentes, e que possibilite variar a resistência de modo fácil, podem ser definidos como resistores variáveis.

Normalmente um resistor variável consiste em um elemento resistivo de forma circular envolvido por um invólucro. Esse elemento pode ser de carvão de fio ou de película. Um contato móvel desliza sobre o elemento resistivo fazendo contato elétrico com o mesmo. O contato móvel é deslocado por meio de um eixo A resistência entre as extremidades do elemento resistivo e o contato móvel depende da posição do eixo. (MILEAF, 1982, p.40)

Os resistores variáveis não possuem faixas de cor para definição de seu valor como os resistores fixos, sua leitura exata apenas pode ser feita através do uso de algum equipamento de medição que possa fazer a leitura da resistência em ohms. Essa resistência encontrada através do equipamento de medição, ficará entre 0Ω e o valor nominal do resistor variável, gravado sobre o invólucro (MILEAF, 1982).

Desta maneira, ao analisar o resistor variável da Figura 8, pode-se visualizar o valor de 10k que representa 10.000Ω , assim pode-se dizer que a resistência deste resistor sempre deverá estar entre 0Ω e $10k \Omega$.

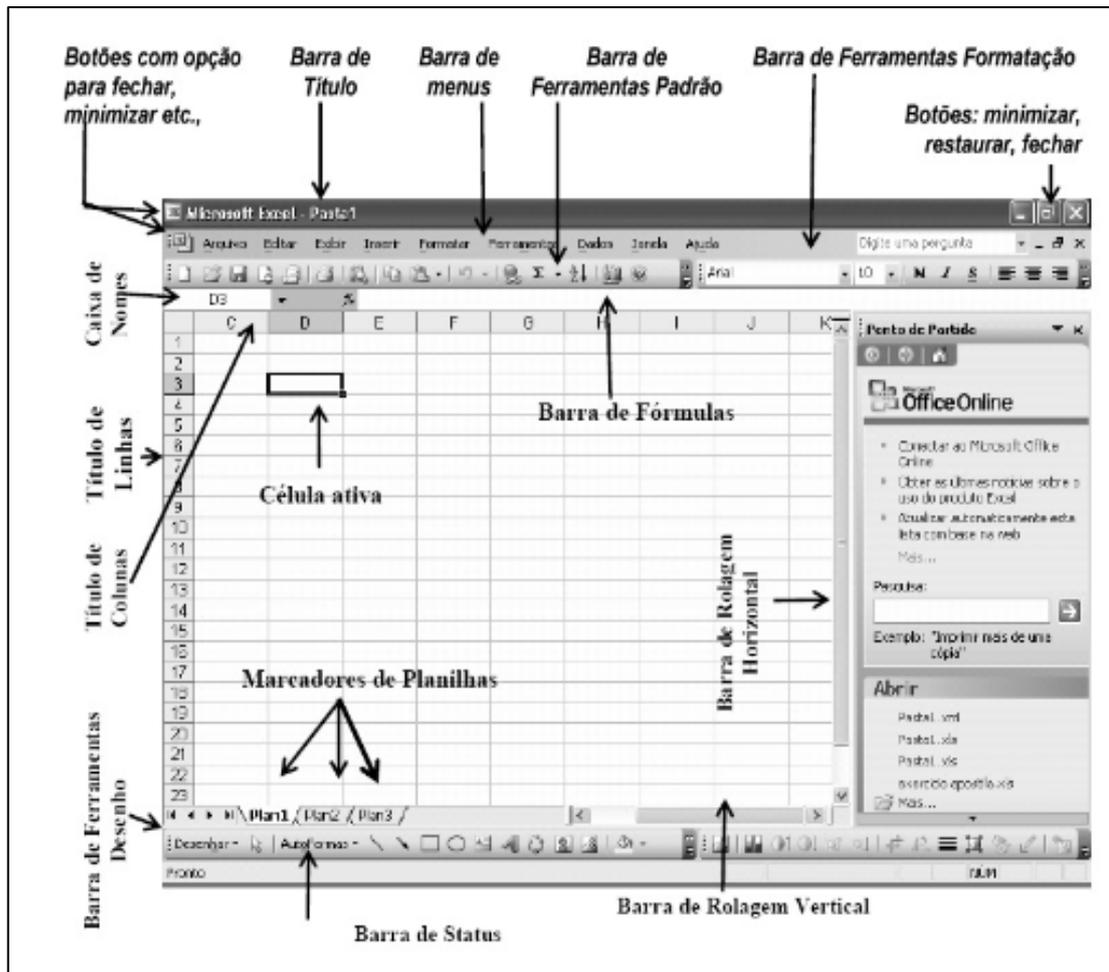
Os potenciômetros angulares são usados para indicar as posições angulares e medir os deslocamentos angulares de um móvel, em um curso curvilíneo ou circular (por exemplo ao redor do eixo do potenciômetro, entre 0° e 240°), em movimentos com trajetórias semi-circulares (como ocorre no pêndulo onde fica o martelo).

2.7.3 Microsoft Excel

Stella e Martino (2007) mencionam que o Excel é um aplicativo desenvolvido pela Microsoft para Windows, que pode ser utilizado para armazenar e trabalhar com lista de dados, calcular, análise de tendências, operações matemáticas, fazer relatórios, gráficos e projeções.

O Excel é um dos mais importantes aplicativos de planilha eletrônica para uso em microcomputadores e ainda permite que se faça um gerenciamento dos dados, gerando bancos de dados e gráficos com tudo o que foi introduzido na planilha (STELLA e MARTINO, 2007).

Figura 9: Planilha didática do Microsoft Excel



Fonte: Stella e Martino, 2007, p. 18.

A Figura 9 demonstra o layout do Excel, que possui utilidades diversas, sendo que no presente caso, poderia servir de instrumento de levantamento de dados mais aprofundado, permitindo a geração de gráficos e comparações entre ensaios.

2.7.4 Macros

Segundo Walkenbach (2010), macro automatiza determinada função do Excel através de uma sequência de instruções. Os procedimentos a serem controlados pela Macro podem ser gravados utilizando a função gravar Macro, do Excel, ou podem ser programadas usando visual basics (VBA).

As Macros possuem a capacidade de causar danos aos computadores, como, instalar malwares ou apagar arquivos. Por esse motivo o Excel não executa macros sem a autorização do usuário, por questão de segurança (WALKENBACH, 2010).

2.8 SENSORES

Sensores são dispositivos sensíveis em forma de energia do ambiente, que podem ser de forma térmica, cinética e luminosa, os sensores podem medir as temperaturas, pressão, velocidade, aceleração, corrente, posição, entre outros (THOMAZINI, 2007).

Segundo o mesmo autor, muitos sensores não possuem características elétricas necessárias para um sistema de controle, antes da leitura no sistema de controle o sinal de saída deve ser sempre manipulado. Isso ocorre um circuito de interface, que produz sinal que pode ser lido pelo controlador.

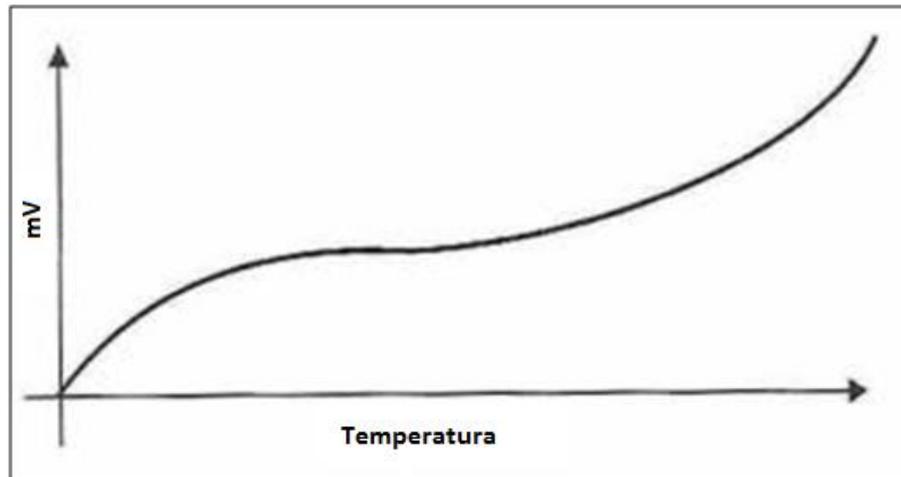
Ainda diz, que a interface é um tipo de amplificador que tem a finalidade de elevar o nível de sinal para uma efetiva utilização, ou seja, a saída de um sensor após ele ser sensibilizado por uma energia externa, acaba provocando um nível de tensão muito baixo, tornando então a amplificação.

2.8.1 Sensores Analógicos

Esse tipo de sensor pode assumir qualquer valor na saída ao longo do tempo, desde que esteja de acordo com a faixa de operação (THOMAZINI, 2007).

Pelo referido autor, ele pode assumir ao longo do tempo algumas grandezas físicas como umidade, pressão, velocidade, ângulo, força, vazão, temperatura, luminosidade, distância, entre outros. Essas grandezas físicas são denominadas elementos sensíveis em um circuito eletrônico analógico. Pode-se observar na Figura 10 a variação da temperatura de forma analógica.

Figura 10: Ilustração a variação de uma grandeza física em um sensor analógico



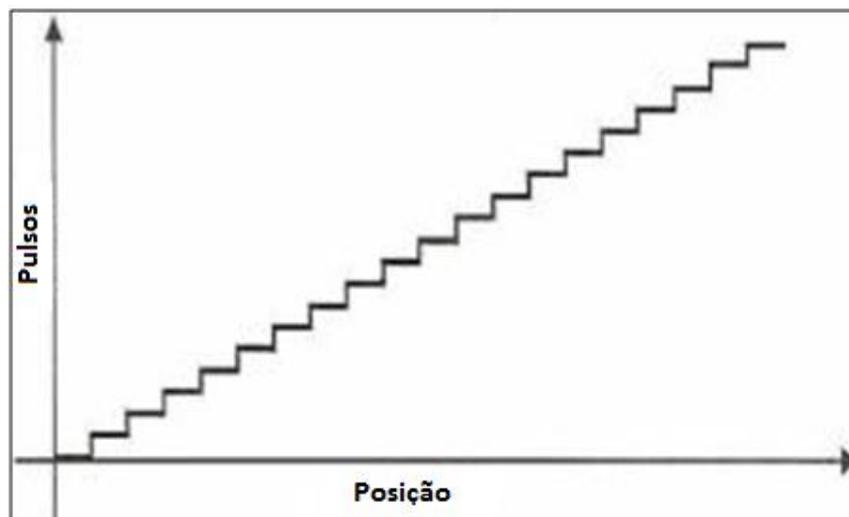
Fonte: Thomazini, 2007.

2.8.2 Sensores Digitais

Os sensores digitais assumem apenas dois valores na hora da saída ao longo do tempo, que pode ser entre zero e um. Não existem grandezas físicas que assumem esse valor, porém após o valor ser convertido no circuito eletrônico do transdutor, eles são mostrados no sistema de controle. É bastante utilizado na detecção na passagem de objetos e na determinação pelos encoders de distância ou velocidade (THOMAZINI, 2007).

Na Figura 11 pode-se observar a variação da posição de um objeto que é lida pelo encoder incremental.

Figura 11: Ilustração da leitura da posição de um objeto pelo encoder incremental.



Fonte: Thomazini, 2007.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A metodologia conforme Gil (2002) descreve os procedimentos utilizados na realização da pesquisa, assim como sua organização varia de acordo com as modalidades de cada pesquisa. Assim, este estudo se caracteriza, como exploratória, descritiva, bibliográfica e aplicada.

Neste sentido, para responder o problema da pesquisa que trata da maneira correta para realizar a instrumentação da máquina de impacto Charpy, utilizou-se a pesquisa exploratória, no qual proporciona maior familiaridade com o problema, tendo em vista torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. (GIL, 2008).

Para alcançar o primeiro objetivo que trata de alterar o sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital, transformando o sistema antigo que era composto por uma placa metálica com escala graduada adesivada e por um ponteiro de UHMW (polietileno de ultra alto peso molecular) para um sistema digital utilizando o Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única) e criando um sistema de aquisição de dados, de forma que estes possam ser visualizados em um *Display* LCD, utilizou-se a pesquisa aplicada, por meio da implementação do sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital.

No que se refere aos objetivos específicos de fazer o estudo sobre Máquinas de ensaio Charpy, busca-se analisar seu princípio de funcionamento e desenvolver pesquisa bibliográfica sobre ensaio de impacto, Arduino e potenciômetro que serão utilizados na bancada, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que consiste no desenvolvimento de consultas em fontes secundárias de materiais já elaborados; como: livros, revistas técnicas, sites, artigos científicos, entre outros. (GIL, 2008).

A concretização do objetivo de construir e programar um sistema de aquisição de dados com base na plataforma Arduino e integrá-lo na bancada, se fez possível através de um estudo de caso, que está compreendido na classificação da pesquisa quanto aos procedimentos técnicos. (GIL, 2008).

Assim, este estudo se qualifica como um estudo de caso, realizado na Faculdade de Horizontina (FAHOR), por meio da implementação de um sistema de medição digital.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O ensaio Charpy é realizado para mensurar a energia absorvida após a ruptura do corpo de prova. Para medição desta energia, precisa-se calcular a energia potencial final de ensaio e correlacioná-la com a energia de impacto apresentado no software através do Arduino.

Para a plataforma de hardware e software utilizou-se o Arduino UNO e com apenas um sensor é possível determinar todas as variáveis necessárias para a automação do processo.

3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

O projeto em questão foi definido através da necessidade de aperfeiçoar a bancada atual da Máquina Charpy, que tem seu funcionamento através de um sistema analógico, sendo que a mesma não apresentava resultados aceitáveis em testes de impacto realizados. Com a implementação do sistema digital na bancada de impacto Charpy, o campo de pesquisa será mais amplo para realizar testes e apresentará resultados satisfatórios.

3.4 COLETA DE DADOS

O sistema funciona da seguinte maneira: o martelo é liberado de forma manual pela solenoide, após isso o pontenciômetro junto com o Arduino coletam os dados e enviam para o LCD, onde é possível visualizar com clareza e facilidade os resultados obtidos.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Sendo feita toda a implementação do sistema, será possível obter dados mais precisos, permitindo também uma coleta de dados mais didática e de mais fácil visualização para o aluno, que poderão visualizar os dados em um *Display* LCD na própria bancada.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A apresentação dos resultados deste trabalho ocorre na seguinte ordem: Máquina de Charpy antes das alterações, alterações na bancada, fase de testes, programação do Arduino e interpretação da programação.

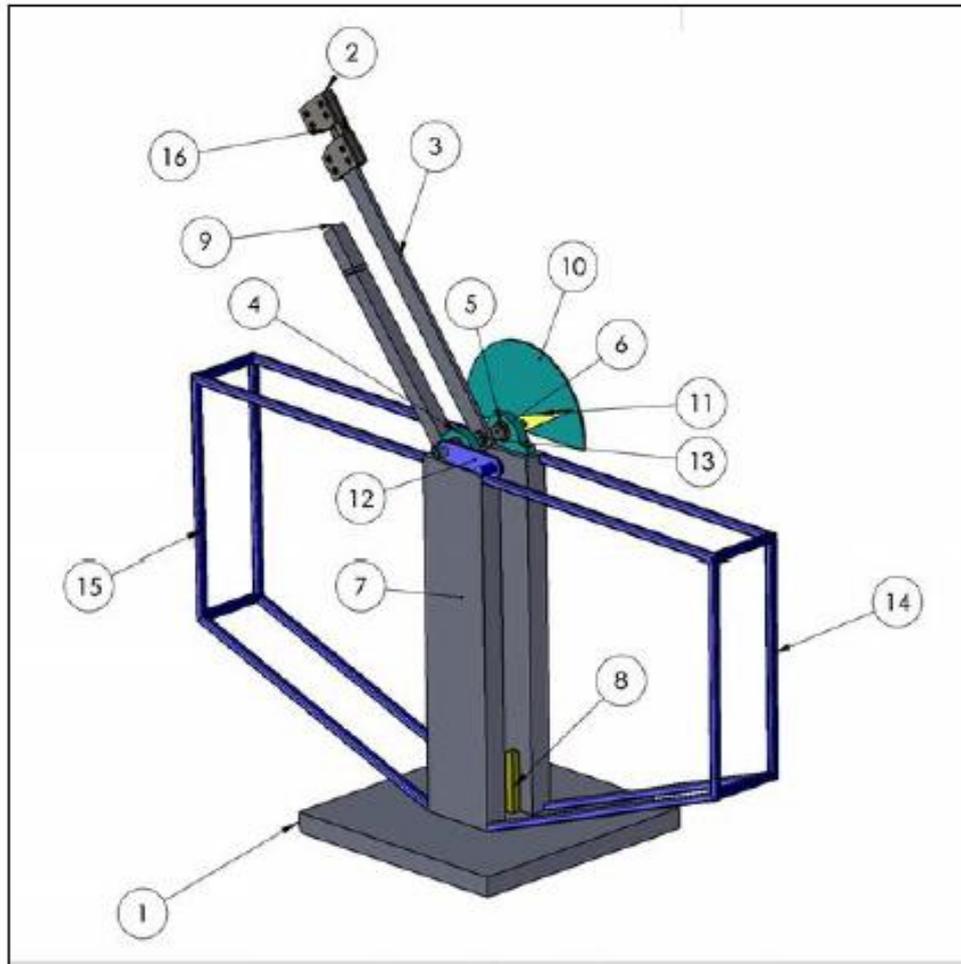
4.1 MÁQUINA DE CHARPY ANTES DAS ALTERAÇÕES

Os principais componentes da Máquina de Charpy serão apresentados na Figura 12.

A máquina é constituída por 16 elementos sendo eles:

- Cutelo: parte fixada no martelo que entra em contato com o corpo de prova;
- Martelo: massa responsável pela força do pêndulo, a qual é soldada na haste e possui o cutelo em seu centro;
- Haste: meio de ligação entre o eixo e o martelo;
- Eixo: responsável pela sustentação do pêndulo;
- Rolamentos: são colocados os rolamentos nas extremidades do eixo a fim de diminuir perdas com atrito;
- Mancais: os mancais funcionam como suporte aos rolamentos;
- Encosto: forma o conjunto encosto-apoio do corpo de prova;
- Travamento: responsável pelo travamento do pêndulo na posição inicial;
- Indicador: formado por uma régua graduada, tem a função de indicar em graus a energia absorvida pelo material;
- Agulha: instalada no eixo, tem a função de deslocar o ponteiro do indicador para marcação da energia.
- Manivela: meio pelo qual se coloca o pêndulo na posição inicial;
- Colunas: sustentação do conjunto pêndulo, travamento e sistema de proteção;
- Sistema de Proteção: responsável pela proteção do operador e acompanhantes do teste;
- Base: sustentação de todo o dispositivo.

Figura 12: Componentes da Máquina de Charpy



Fonte: Chitolina e Anton, 2013, p. 18.

Na Tabela 1 podemos observar todos os itens que estão compreendidos com suas respectivas quantidades na máquina.

Tabela 1: Componentes da Máquina Analógico

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.	Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.
1	Base	1	9	Travamento	1
2	Martelo	1	10	Indicador	1
3	Haste	1	11	Agulha	1
4	Mancal	2	12	Manivela	1
5	Rolamento	2	13	Bucha	2
6	Eixo	1	14	Proteção	4
7	Coluna	2	15	Polycarbonato	6
8	Encosto 2	1	16	Cutelo	1

Fonte: Chitolina e Anton, 2013, p.18.

4.2 ALTERAÇÕES DA BANCADA

Nesta seção se apresentam as alterações na bancada: substituição do eixo, substituição do sistema de medição, substituição do sistema de travamento e limitador do martelo.

4.2.1 Substituição do Eixo

Para a implementação do sistema de medição digital na bancada, é necessário colocar um potenciômetro no eixo da Máquina, de uma maneira que o eixo do potenciômetro gire proporcional (movimento angular) ao eixo do martelo. A melhor maneira encontrada para essa necessidade é fazer um furo no lado do eixo, onde se encaixa o potenciômetro.

Após realizado esses passos, observou-se que o furo onde se coloca o potenciômetro não ficava centralizado no momento em que o martelo se movimentava, tornando complicado a coleta de dados.

Com isso, concluiu-se que o eixo sendo utilizado estava deformado, conforme pode-se observar na Figura 13.

Figura 13: Eixo danificado



Com o intuito de resolver esse problema, foi necessária a fabricação de um novo eixo com as mesmas medidas e dimensões. Após adaptado o novo eixo à máquina, tornou-se possível realizar a coleta de dados com o potenciômetro normalmente, conforme pode-se observar o novo eixo na Figura 14.

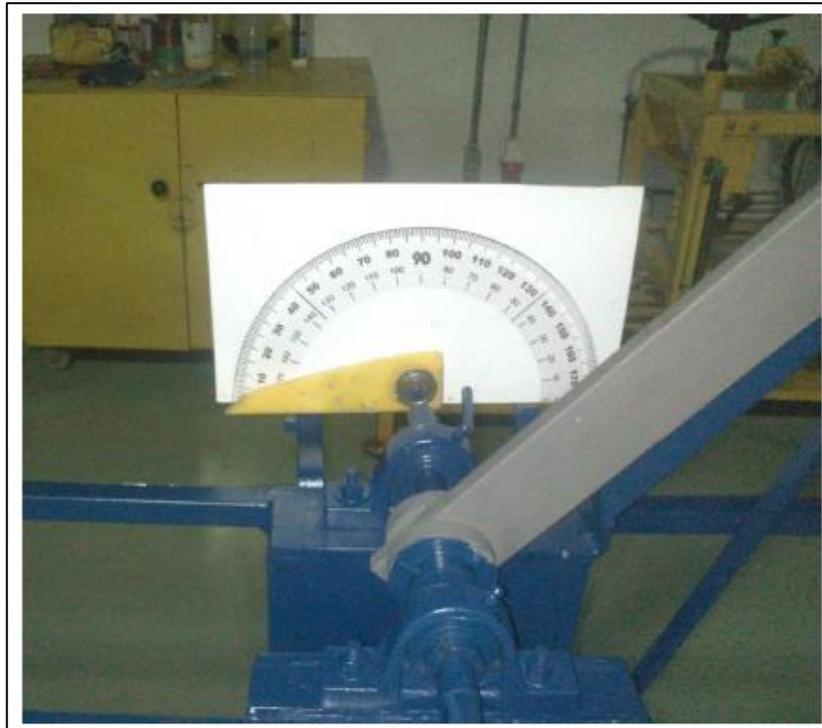
Figura 14: Eixo novo



4.2.2 Substituição do Sistema de Medição

Buscando resultados mais precisos e que o ensaio se torne mais didático e de fácil visualização para os alunos, foi efetuada a troca do sistema antigo que era composto por uma placa metálica, com escala graduada adesivada e por um ponteiro de UHMW (Polietileno de ultra alto peso molecular), conforme Figura 15, por um *display* LCD de 16x2, conforme Figura 16.

Figura 15: Sistema de medição antigo



Fonte: Chitolina e Anton, 2013, p. 37.

Figura 16: *Display* LCD 16x2



No *Display* mostrará os seguintes valores:

- ANG: Ângulo atual do martelo em graus.
- MAX: Ângulo máximo que o martelo alcançou em graus.
- Ea: Energia absorvida pelo corpo de prova em Joules.

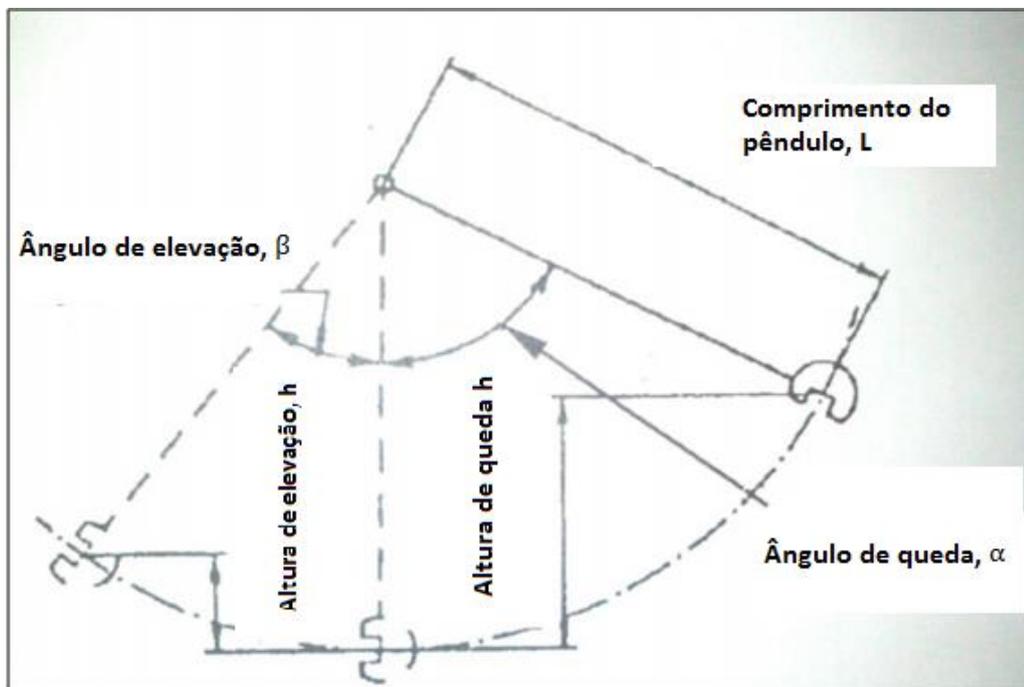
A energia absorvida pelo corpo de prova é calculada através do ângulo máximo que o martelo alcançou.

O cálculo da energia absorvida é dado pela equação 1, onde a energia absorvida (Ea) é encontrada a partir da massa do martelo (m), gravidade (g), centro de percussão (L_1), ângulo de queda (α) e ângulo de elevação (β) como mostra a Figura 17.

$$Ea = m \times g \times \{[L_1(1 - \cos \alpha)] - [L_1(1 - \cos \beta)]\}$$

(1)

Figura 17: Descrição dos ângulos



Fonte: NBR 281-2, 2003.

4.2.3 Substituição do Sistema de Travamento

Buscando automatizar o ensaio, foi efetuada a troca do sistema de travamento que contava com uma fechadura de porta (Figura 18), por uma solenoide tipo trava (Figura 19). No momento a solenoide está funcionando de forma manual, por meio de uma chave. Portanto, para o futuro pode-se fazer a solenoide ser acionada por um botão *push*, tornando assim o sistema automatizado.

A solenoide não está funcionando por meio do botão *push*, pois com o peso do martelo, ela não tem força suficiente para se acionar. Quando testada sem o peso do martelo, a solenoide funcionou perfeitamente.

Figura 18: Sistema de travamento com fechadura de porta



Fonte: Chitolina e Anton, 2013, p. 36.

Figura 19: Solenoide tipo trava



4.2.4 Limitador do Martelo

Para tornar possível a análise dos resultados, quando o martelo estiver travado pela solenoide, o ponteciômetro estará na posição inicial. Isso é necessário, pois é preciso ter um valor inicial padrão para operar o ensaio de forma correta.

Com isso, torna necessário que a bancada possua um limitador de altura para o martelo, não permitindo que ele fique mais alto que sua posição inicial. O martelo não pode ser mais alto que sua posição inicial, pelo fato de que o ponteciômetro vai estar limitado à essa altura. Caso contrário, irá danificar o potenciômetro. Pode-se observar o limitador na bancada conforme Figura 20.

Figura 20: Limitador do martelo



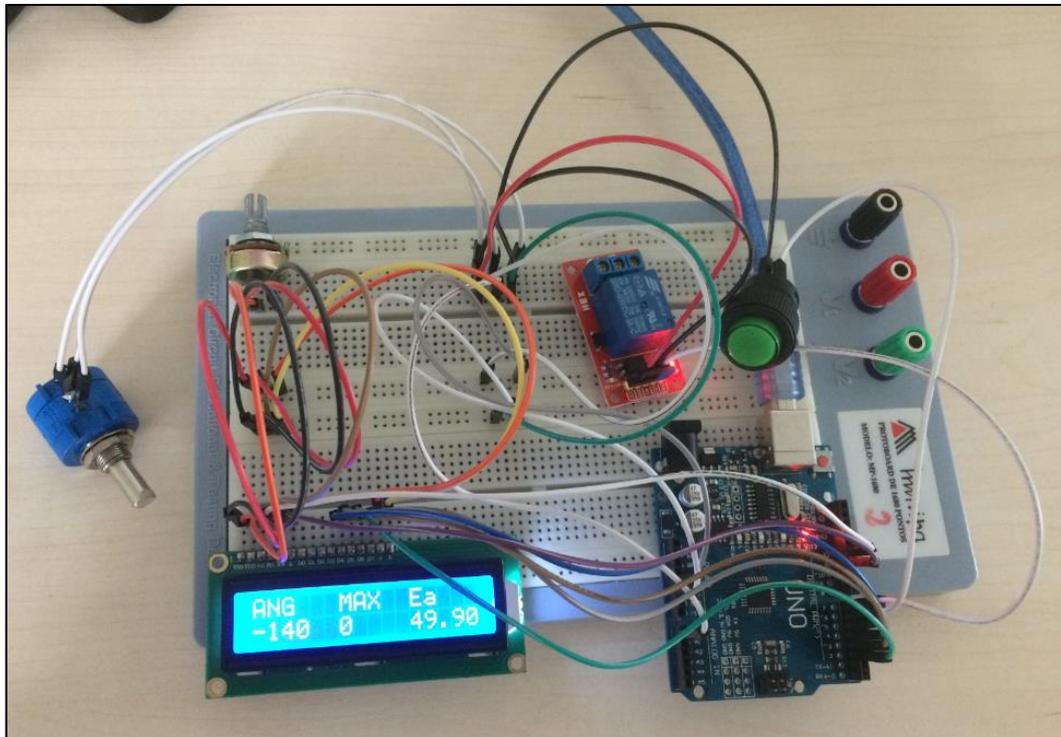
4.3 FASE DE TESTES

Uma excelente ferramenta para criação rápida de circuitos eletrônicos e protótipos sem a necessidade de soldar componentes é o *Protoboard*. Sendo muito comum em laboratórios de eletrônica e também para aulas experimentais.

Durante a implementação do projeto na bancada, teve-se um longo período de testes. Para a realização desses testes, foi necessário montar um circuito eletrônico utilizando um *Protoboard*.

Utilizou-se o *Protoboard*, pois se tratava de um período experimental, onde não havia a necessidade de soldar componentes, sendo que o circuito eletrônico teve muitas alterações até chegar em seu correto funcionamento. Pode-se observar na Figura 21 o circuito eletrônico funcionando corretamente com todos seus componentes.

Figura 21: Circuito eletrônico em fase de teste



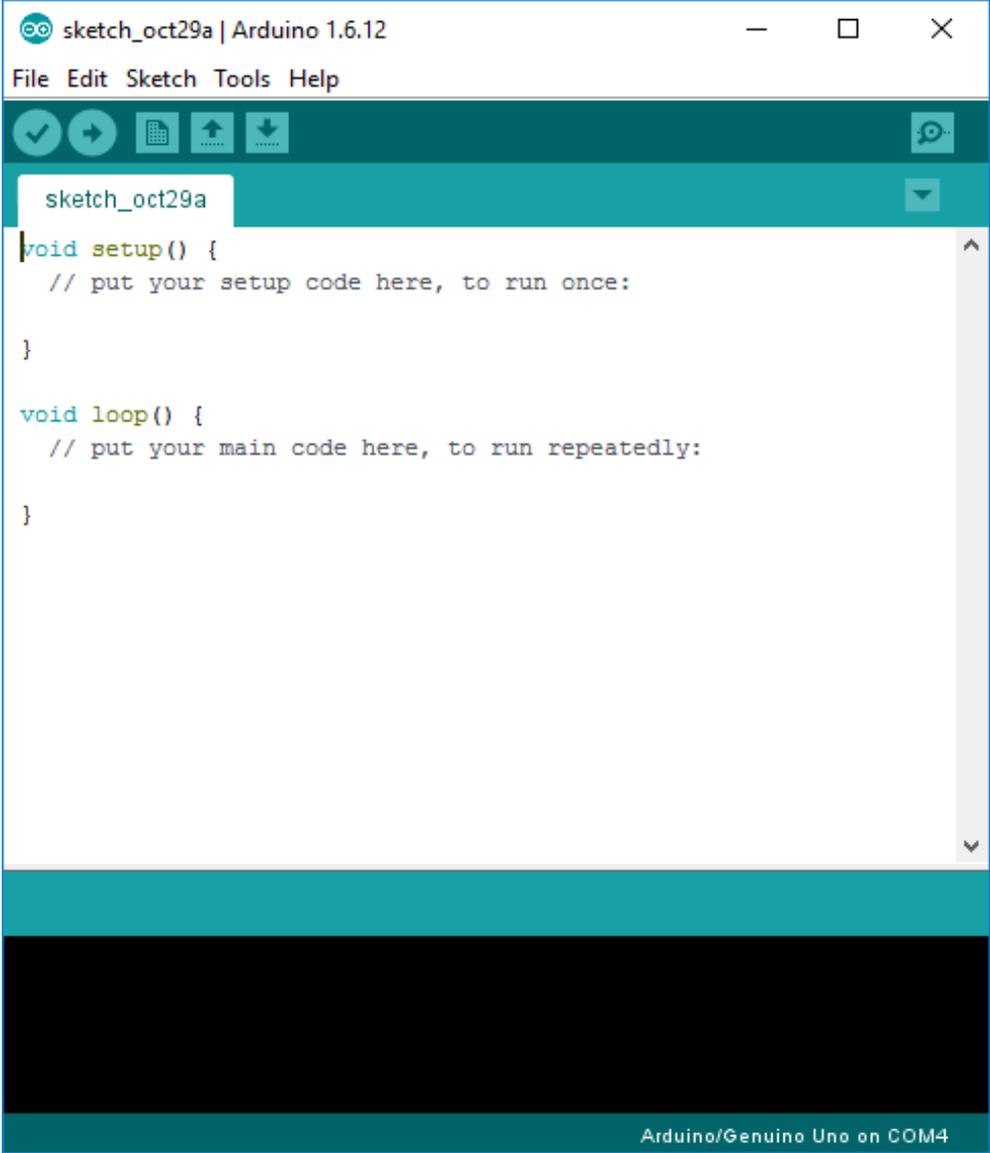
Os componentes utilizados para a montagem do circuito foram os seguintes:

- 1 *Protoboard*
- 1 *Display* LCD 16x2
- 1 *Arduino UNO*
- 1 *Potenciômetro* multivoltas 10K
- 1 *Potenciômetro* 10K
- 1 *Botão Push*
- 1 *Módulo Relé* 5V
- 28 *Jumpers*

4.4 PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO

Com o circuito finalizado, foi conectado o Arduino UNO no computador, para desenvolver o código de programação necessário. O programa utilizado foi o Arduino 1.6.12, conforme a Figura 22. O código completo pode ser visualizado no Anexo A.

Figura 22: Programa responsável pela criação do código



```
sketch_oct29a | Arduino 1.6.12
File Edit Sketch Tools Help
sketch_oct29a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
Arduino/Genuino Uno on COM4
```

4.5 INTERPRETAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO

Esta seção aborda a programação da equação, a programação do LCD, o mapeamento e o armazenamento do maior valor do arduino.

4.5.1 Programação da Equação

Primeiramente, foram colocadas todas as variáveis necessárias para o cálculo, conforme pode-se observar na Figura 23.

Figura 23: Variáveis do Cálculo

```
//Variaveis calculo
double pi = 3.141592;
double m = 4; //Massa do martelo
double g = 9.81; //Gravidade
double l1 = 0.72; //Centro de percussão
double alpha = 140; //Angulo de queda
double calc = 0; //Calcula
double beta = 0;
```

Após isso, como a programação do Arduino faz a leitura dos ângulos em radianos, foi necessário criar um comando que transformasse a leitura dos ângulos em graus, como pode-se observar na Figura 24.

Figura 24: Transformação de Radianos para Graus

```
//Serial.println(cos(alpha));
alpha = 140 * pi / 180;
```

Para finalizar, segue a equação da energia absorvida pelo corpo de prova menos as perdas resultantes do atrito nos mancais e resistência do ar (0,80), onde o *beta* é o ângulo máximo atingido pelo martelo. Observa-se a equação na Figura 25.

Figura 25: Equação da energia absorvida pelo corpo de prova

```
beta = maior * pi / 180;
calc = ((m * g * ((l1 * (1 - cos(alpha))) - (l1 * (1 - cos(beta)))))-(0.80));
```

4.5.2 Programação do LCD

Para o LCD mostrar os dados obtidos, é necessário uma programação para que o Arduino e o LCD fiquem interligados, pode-se observar o código de programação na Figura 26.

Figura 26: Comunicação entre Arduino e LCD

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
//Configura os pinos do Arduino para se comunicar com o LCD
```

O código de programação da Figura 27 tem a função de inicializar o LCD.

Figura 27: Inicialização do LCD

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(8, HIGH);
  lcd.begin(16, 2); //Inicia o LCD com dimensões 16x2(Colunas x Linhas)
  pinMode(8, OUTPUT);
}
```

A função clear LCD tem a finalidade de limpar o LCD, ou seja, limpa todo o conteúdo do *display*. Pode-se visualizar a função na Figura 28.

Figura 28: Limpar o LCD

```
void clear_lcd() {
```

A função da Figura 29 tem a finalidade de escrever no LCD, colocando cada palavra ou valor no lugar escolhido.

Figura 29: Formatação do *Display*

```
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ANG");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("MAX");
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print("Ea");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(potvalor);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(maior);
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(calc);
```

4.5.3 Mapeamento

A função do mapeamento é usada para fazer a calibração do sistema, nesse caso em específico. Pode observar a função na Figura 30.

Figura 30: Mapeamento

```
//Lê o potenciômetro e armazena na variável potvalor  
potvalor = analogRead(A0);  
potvalor = map(potvalor, 0, 80, -140, 140);
```

4.5.4 Armazenamento do Maior Valor do Arduino

A função da Figura 31 tem a finalidade de armazenar o maior valor lido pelo Arduino, no caso o maior ângulo que o martelo alcançou.

Figura 31: Armazenamento do maior valor

```
//compara valor do potenciometro para armazenar o maior valor no arduino  
if(potvalor > maior){  
    maior = potvalor;
```

4.6 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Calibração é um conjunto de procedimentos destinados a estabelecer uma correspondência entre uma grandeza física conhecida ou padronizada e as leituras de um instrumento no qual esta grandeza é medida.

Para o sistema de medição funcionar de forma eficaz, foi necessário fazer alguns testes na bancada.

Como o potenciômetro faz uma leitura padrão, que marca de 0 a 1023, foi preciso fazer um mapeamento, ou seja, foi acoplado o potenciômetro junto com o sistema à bancada e feito algumas comparações.

Parando o martelo quando ele atingia sua altura máxima, medimos usando um transferidor o seu grau de elevação, que foi 140°, então esse valor foi comparado

ao valor mostrado pelo potenciômetro, que foi 80. Com isso sabemos que 80 marcado pelo potenciômetro é equivalente a 140° .

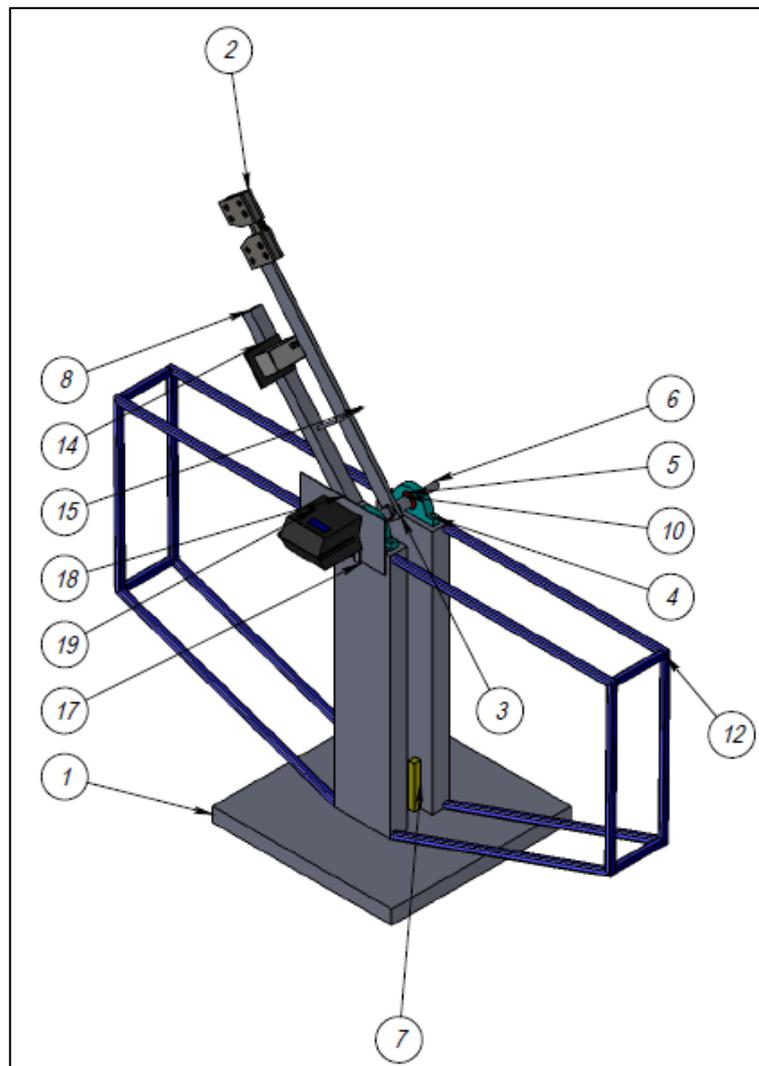
Partindo disso, foram feitas mais algumas comparações, como 40 do potenciômetro é equivalente a 0° , 65 do potenciômetro é equivalente a 90° e 25 do potenciômetro é equivalente a -90° .

No momento em que o martelo está travado pela solenoide, o potenciômetro se encontra em sua posição inicial, que no caso é 0 e que é equivalente a -140° .

4.7 MÁQUINA DE CHARPY APÓS AS ALTERAÇÕES

Os principais componentes da Máquina de Charpy serão apresentados na Figura 32.

Figura 32: Máquina de Charpy após as alterações



Na Tabela 2, pode-se observar todos os itens que estão compreendidos com suas respectivas quantidades na máquina.

Tabela 2: Componentes da Máquina Digital

Nº DO ITEM	NOME DA PEÇA	QTD
1	BASE	1
2	MARTELO	1
3	HASTE	1
4	MANCAL	2
5	ROLAMENTO	2
6	EIXO	1
7	ENCOSTO 1	1
8	TRAVAMENTO	1
9	ENCOSTO 2	1
10	BUCHA	2
11	PROTEÇÃO	4
12	PROTEÇÃO 2	4
13	POTENCIÔMETRO	1
14	SOLENOIDE	1
15	ENCOSTO	1
16	CHAPA POTENCIOMETRO	1
17	L	2
18	CHAPA CAIXA	1
19	CAIXA PRINCIPAL	1

É possível visualizar de forma mais detalhada os componentes da bancada no Anexo D.

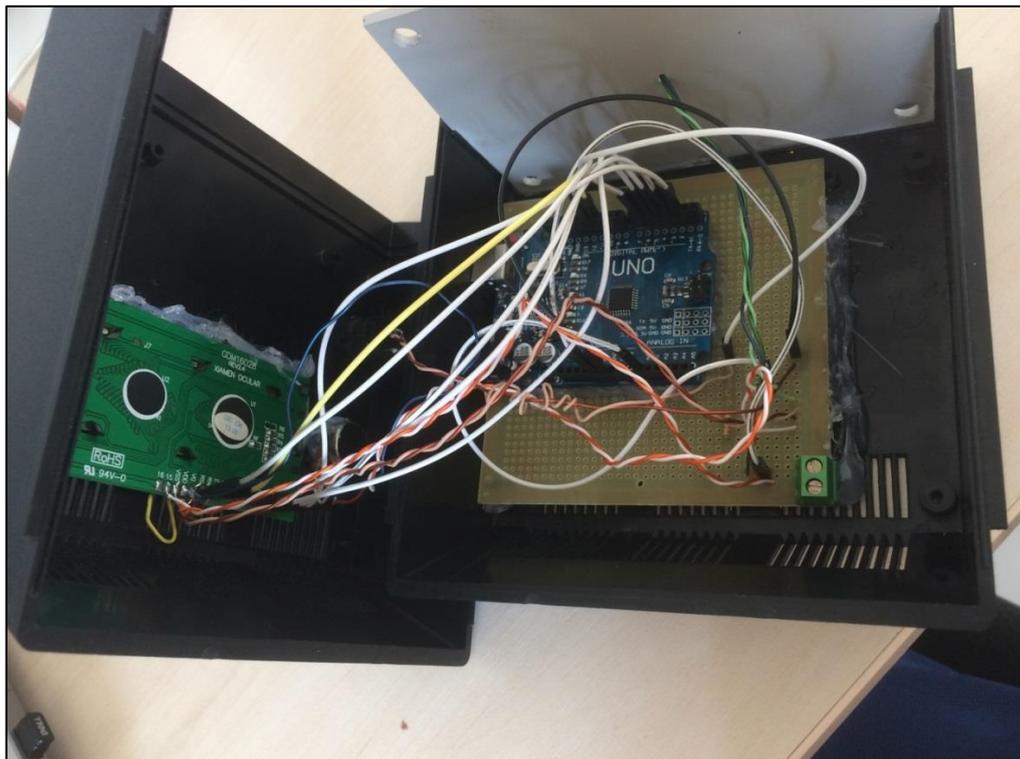
Após a fase de teste, foram soldados os componentes eletrônicos na placa perfurada, conforme anexo B. O *Display* LCD, o potenciômetro e o botão foram fixados na caixa de acabamento e interligados juntamente na placa perfurada por meio de cabos, conforme Figuras 33 e 34.

Figura 33: Caixa de acabamento com os componentes



1. *Display LCD*: São 16 colunas por 2 linha.
2. *Potenciômetro Display*: Regula o brilho do *display*.
3. *Botão Reset*: Faz *reset* no sistema, deixando o sistema apto para novo ensaio.

Figura 34: Componentes soldados na placa perfurada



No modelo finalizado, os componentes estão conectados entre si por meio de cabos e uma placa perfurada. A placa perfurada e o *display* foram colados na caixa de acabamento com o uso da cola quente. Como escrito anteriormente, o sistema passou por uma fase de testes utilizando uma placa *Protoboard* até chegarmos no resultado final.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que a bancada de impacto do curso de Engenharia Mecânica da FAHOR não estava cumprindo com exatidão o seu objetivo, foi necessária a realização deste trabalho, a fim de melhorar a qualidade dos estudos e testes realizados, transformando um sistema analógico em digital.

Anteriormente, o sistema marcava apenas o maior ângulo que o martelo atingia, por meio de um ponteiro, agora o sistema possui um *display* que marca o ângulo atual do martelo, o ângulo máximo atingido pelo martelo e a Energia absorvida.

A instrumentação da máquina de ensaio Charpy faz com que seja feita uma melhoria da coleta de dados, por meio de um potenciômetro colocado junto à bancada. Além disso, é possível realizar a análise dos esforços envolvidos no decorrer do impacto, calculando a energia absorvida pelo corpo de prova.

Quando o ensaio é realizado sem sensores, há uma limitação dos resultados quantitativos, o que não proporciona resultados eficazes. Com a automação da máquina de ensaio Charpy, as áreas de Engenharia, Ciência dos materiais e automação findam por ter mais benefícios.

Diante do exposto, neste estudo alterou-se o sistema de medição da máquina de ensaio Charpy de analógico para digital, realizando a troca do sistema antigo, que era composto por uma placa metálica com escala graduada adesivada e por um ponteiro de UHMW (polietileno de ultra alto peso molecular) para um sistema digital utilizando o Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única) e criou-se um sistema de aquisição de dados, de forma que estes possam ser visualizados em um *Display* LCD.

Com isso, este trabalho contribui para aperfeiçoar a bancada, proporcionando aos acadêmicos da FAHOR, um sistema de medição digital, tornando o ensaio mais didático e de fácil visualização para o aluno.

Conclui-se, que o sistema digital apresenta resultados mais precisos, sendo que não tem perdas associadas ao arraste do ponteiro. Com o sistema digital, obtém-se o valor de energia absorvida no mesmo instante em que é feito o ensaio, não tornando necessário realizar o cálculo como era feito anteriormente.

6 MELHORIAS PARA O FUTURO

Sugere-se, como proposta para um futuro trabalho, o levantamento do martelo da bancada de forma mecanizada, como também, o acionamento da solenoide por meio de um botão.

Recomenda-se, ainda, a realização de testes com o mesmo material em diversas temperaturas para análise da curva dúctil-frágil do material, bem como, a realização de testes com diferentes materiais, para análise do comportamento de cada um conforme a sua dureza.

Propõe-se também uma coleta de dados via Microsoft Excel, em que seria possível fazer um levantamento de dados mais aprofundando, permitindo a geração de gráficos e comparações entre ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 (NB 66): **Informação e documentação**: referências de elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

CALLISTER, W. D. J. **Ciência e engenharia de materiais: Uma Introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

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

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

COSTA, F. **Ensaios Tecnológicos** – 3º Ciclo de Técnico em Mecânica. São Paulo, 2000.

DALCIN, G. **Ensaio dos Materiais**. Trabalho De Conclusão de Curso Apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2007.

FIGUEIREDO, K. **Aplicação de Ensaio de Impacto Charpy Instrumentado no Estudo da Tenacidade à Fratura Dinâmica nas Soldas a Arco Submerso em Aços para Caldeiras**. São Carlos, 2004.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, E.; TAVARES, L. **Uma Solução Com Arduino Para Controlar E Monitorar Processos Industriais**. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Instituto Nacional de Telecomunicações, 2013.

GUIMARÃES; BEPPU, M. **Apostila Arduino**. Rio de Janeiro, 2010.

JUSTEN, Alvaro. **Curso de Arduino**. Rio de Janeiro, 2009.

LUCENA, E.; MARTINS, S. **Instrumentação De Um Pêndulo De Impacto Charpy**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006.

MCRBERTS, M. **Arduino Básico**. Editora Novatec, 2011.

MILEAF, Harry. **Eletricidade** 3. ed. São Paulo: Martins fontes, 1982.

MORAES, J. **Instrumentação da Máquina de Ensaio Charpy**. IV Simpósio de Inovação Tecnológica, 2010.

PUC-Rio. **Certificação Digital nº0621120/CA**. Disponível em:
<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16007/16007_3.PDF> Acesso em: 28 jul. 2016.

SANTOS, Carlos José Giudice dos. **Oficina da Pesquisa**. Disponível em:
<http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/METODOL/_OF.TIPOS_PESQUISA.PDF> Acesso em: 29 jul. 2016

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R. G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. São Paulo: Artmed Editora S.A., 2004.

SILVA, Edna L. da; MENEZES, Ester M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. 3. ed. 2001., 118 p. Disponível em <[http://www.ppgep.ufsc.br/legislação e estrutura anterior/metodologia](http://www.ppgep.ufsc.br/legislação_e_estrutura_anterior/metodologia)>. Acesso em: 10 set. 2016.

SOUZA, Sérgio Augusto de.. **Ensaio Mecânicos de Materiais: Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 1982.

STELLA, Adriana; MARTINO, Taigor. **Informática para Concursos**. Disponível em:
<<http://docplayer.com.br/3306370-Microsoft-excel-2003-informatica-paraconcursos-adriana-stella-taigor-martino.html>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2011.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais: Fundamentos e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2007.

TÓTH, L.; ROSSMANITH, H. P.; SIEWERT, T. A.; **Historical background and development of the charpy test**. Elsevier Science Ltda. and ESIS, 2002.

WALKENBACH, JOHN. **Excel 2010 Bible**. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. 2010.

ANEXOS

ANEXO A: Código de Programação



```
CharpyTCC $
#include <LiquidCrystal.h> //Inclui a biblioteca do LCD

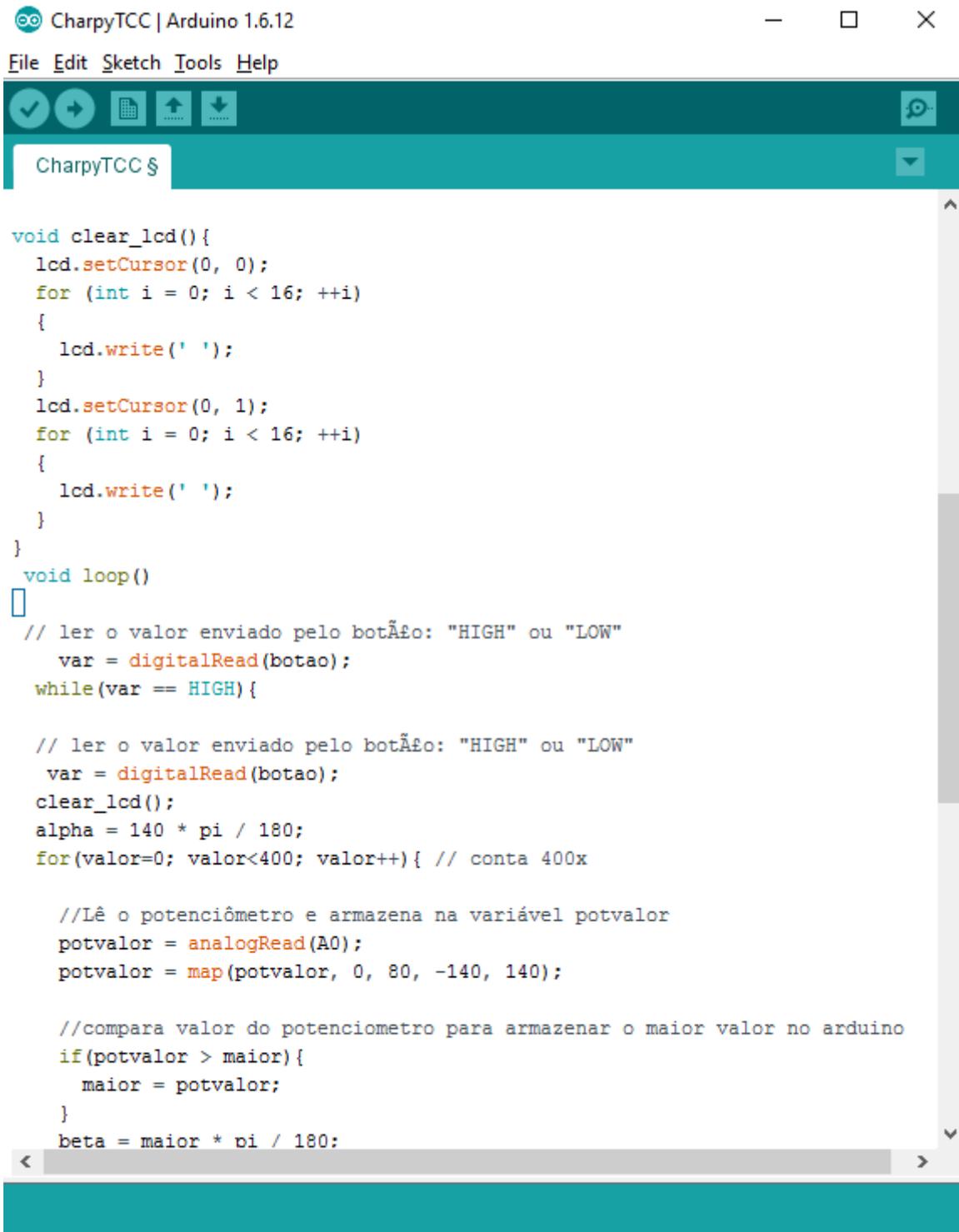
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
//Configura os pinos do Arduino para se comunicar com o LCD

//Inicia uma variável inteira(temp), para escrever no LCD a contagem do tempo
int potvalor;
int maior;
int valor;
int buttonState = 0;
int botao=6;
int var;

//Variaveis calculo
double pi = 3.141592;
double m = 4; //Massa do martelo
double g = 9.81; //Gravidade
double l1 = 0.72; //Centro de percussão
double alpha = 140; //Angulo de queda
double calc = 0; //Calcula
double beta = 0;
char reset;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(8, HIGH);
  lcd.begin(16, 2); //Inicia o LCD com dimensões 16x2(Colunas x Linhas)
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void clear_lcd(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  for (int i = 0; i < 16; ++i)
```



```
CharpyTCC | Arduino 1.6.12
File Edit Sketch Tools Help

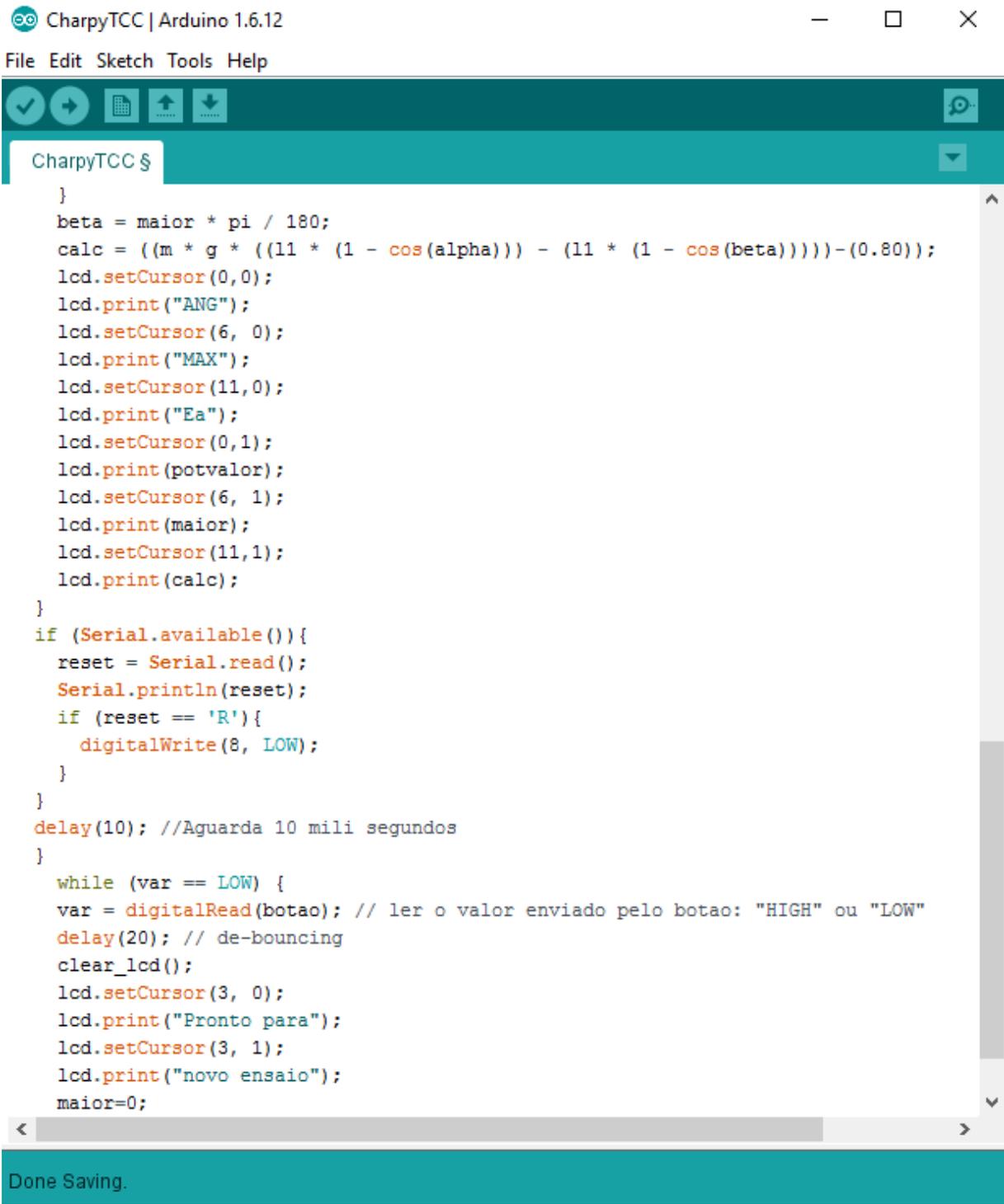
CharpyTCC $

void clear_lcd(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  for (int i = 0; i < 16; ++i)
  {
    lcd.write(' ');
  }
  lcd.setCursor(0, 1);
  for (int i = 0; i < 16; ++i)
  {
    lcd.write(' ');
  }
}
void loop()
// ler o valor enviado pelo botão: "HIGH" ou "LOW"
  var = digitalRead(botao);
  while(var == HIGH){

// ler o valor enviado pelo botão: "HIGH" ou "LOW"
  var = digitalRead(botao);
  clear_lcd();
  alpha = 140 * pi / 180;
  for(valor=0; valor<400; valor++){ // conta 400x

//Lê o potenciômetro e armazena na variável potvalor
  potvalor = analogRead(A0);
  potvalor = map(potvalor, 0, 80, -140, 140);

//compara valor do potenciometro para armazenar o maior valor no arduino
  if(potvalor > maior){
    maior = potvalor;
  }
  beta = maior * pi / 180;
```

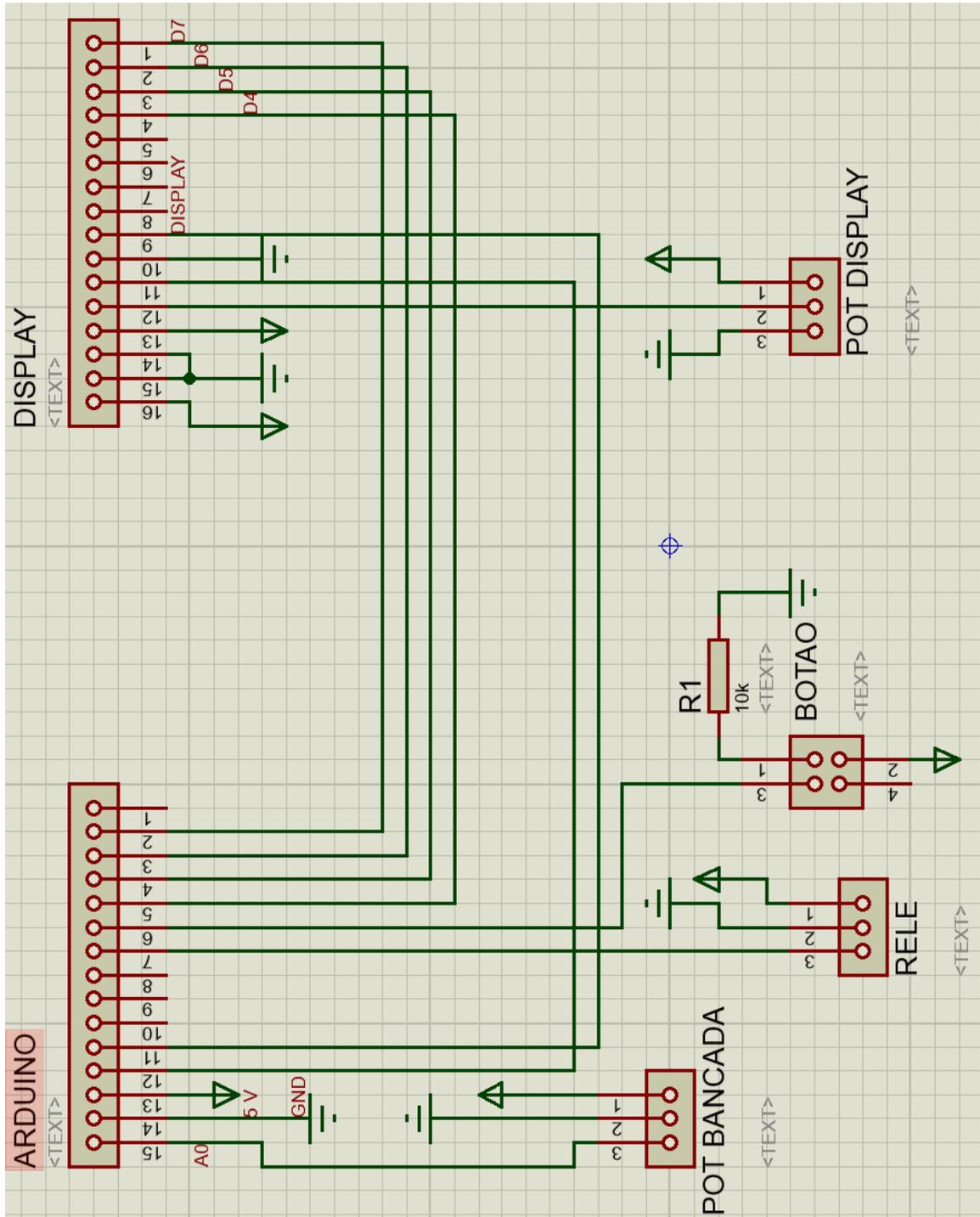


```
CharpyTCC | Arduino 1.6.12
File Edit Sketch Tools Help

CharpyTCC $
}
beta = maior * pi / 180;
calc = ((m * g * ((11 * (1 - cos(alpha))) - (11 * (1 - cos(beta))))) - (0.80));
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ANG");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("MAX");
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print("Ea");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(potvalor);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(maior);
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(calc);
}
if (Serial.available()){
  reset = Serial.read();
  Serial.println(reset);
  if (reset == 'R'){
    digitalWrite(8, LOW);
  }
}
delay(10); //Aguarda 10 mili segundos
}
while (var == LOW) {
  var = digitalRead(botao); // ler o valor enviado pelo botao: "HIGH" ou "LOW"
  delay(20); // de-bouncing
  clear_lcd();
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print("Pronto para");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("novo ensaio");
  maior=0;
}

Done Saving.
```

ANEXO B: Circuito Digital



ANEXO C: Manual para uso

1. Alimentar o sistema digital por meio de uma fonte 9 V ou com o Cabo USB conectado no computador;
2. Caso o pontenciômetro não estiver fixado na banca, é preciso colocar o pontenciômetro na posição inicial e então fixar o pontenciômetro na bancada, com o martelo em sua posição inicial, travado na solenoide.
3. Pronto para realizar o ensaio;
4. Após o ensaio pressionar o botão de *reset* durante 5 segundos, até aparecer a mensagem “Pronto para novo ensaio”;
5. Pronto para realizar um novo ensaio.

OBS: O *Display* LCD tem seu brilho regulado por meio de um pontenciômetro.

ANEXO D: Imagens em diferentes vistas do SolidWorks

