



**FACULDADE HORIZONTINA**

**SANDRO ALENCAR MARCHI**

**INSTRUMENTAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE FADIGA**

**HORIZONTINA-RS**

**2016**

**FACULDADE HORIZONTINA**  
**Curso de Engenharia Mecânica**

**SANDRO ALENCAR MARCHI**

## **INSTRUMENTAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE FADIGA**

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

ORIENTADOR: Cristiano Rosa dos Santos, Mestre.

**HORIZONTINA-RS**

**2016**



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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Instrumentação de uma Bancada Didática de Fadiga”**

**Elaborada por:**

**Sandro Alencar Marchi**

**Aprovado em: 21/11/2016  
Pela Comissão Examinadora**

---

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

---

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

---

**Especialista. Valmir Vilson Beck  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA- RS  
2016**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Inêz e Luiz Marchi que sempre me incentivaram a lutar pelos meus sonhos e objetivos.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço aos meus pais que sempre me forneceram o suporte necessário para que eu continuasse persistindo na minha formação.

Aos professores e colegas que estiveram comigo durante esses anos, em particular ao meu orientador Cristiano Rosa dos Santos que sempre esteve à disposição e em prontidão para me auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

*“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar de novo com mais inteligência.”*

Henry Ford

## RESUMO

Este trabalho apresenta a instrumentação de uma bancada didática de fadiga por flexo-torção, situada no laboratório de ensaios mecânicos da Faculdade Horizontina. Sendo assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de mensurar os parâmetros dos ensaios por meio de sensores, substituindo os métodos de medições analógicos anteriores. Para tanto, o objetivo do trabalho é desenvolver e instalar um sistema de aquisição de dados, composto de sensores e uma placa de prototipagem da plataforma Arduino, para processar os dados, e alimentá-los em uma planilha do Microsoft Excel, de modo que se torne mais simples para o estudante analisar e relacionar os parâmetros dos ensaios. Desta forma, o presente trabalho detalha alguns conceitos básicos, referentes ao fenômeno de fadiga, sensores, Arduino e Macros, tal como, a escolha dos sensores e o processo de desenvolvimento e implantação do sistema de aquisição de dados.

**Palavras-chave:** Ensaio de fadiga. Aquisição de dados. Bancada didática. Arduino.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trinca em uma placa, sob carga uniaxial.....	13
Figura 2 - Curva S-N. ....	15
Figura 3 - Relação entre sinal digital e sinal analógico. ....	16
Figura 4 - Célula de carga, tipo S.....	17
Figura 5 - Ponte de Wheatstone.....	18
Figura 6 - Interferência de um campo magnético em uma placa condutora.....	19
Figura 7 - Mensurando rotações com sensor Hall.....	20
Figura 8 - Alguns tipos de sensores utilizados no Arduino. ....	22
Figura 9 - Arduino Nano. ....	22
Figura 10 - Representação da célula A1. ....	24
Figura 11 – Fotografia da bancada antes da implementação. ....	28
Figura 12 – Fotografia do contador de ciclos analógico. ....	30
Figura 13 – Fotografia do novo sistema de contagem de ciclos.....	31
Figura 14 – Fotografia da célula de carga CSAZL-50. ....	32
Figura 15 – Fotografia do sistema anti-impacto. ....	33
Figura 16 - Esquema elétrico do circuito. ....	35
Figura 17 – Fotografia dos componentes eletrônicos dentro da caixa plástica. ....	36
Figura 18 – Fotografia da caixa dos componentes eletrônicos. ....	37
Figura 19 - Software Arduino IDE.....	38
Figura 20 – Fotografia do display LCD.....	39
Figura 21 - Planilha de exibição de dados. ....	39
Figura 22 – Fotografia da bancada após a implementação. ....	40
Figura 23 - Planilha com dados dos ensaios.....	41
Figura 24 – Fotografia do manual e da bancada.....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1 TEMA.....	9
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	9
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.4 JUSTIFICATIVA .....	10
1.5 OBJETIVO GERAL.....	11
1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	12
2.1 FADIGA.....	12
<b>2.1.1 Ensaio de fadiga</b> .....	13
<b>2.1.2 Curvas S-N</b> .....	14
2.2 SENSORES .....	15
<b>2.2.1 Células de carga</b> .....	17
<b>2.2.2 Sensor Hall</b> .....	19
2.3 ARDUINO.....	20
<b>2.3.1 A placa Arduino</b> .....	21
2.4 MICROSOFT EXCEL.....	23
<b>2.4.1 VBA Macro</b> .....	24
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	26
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	26
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	26
3.3 COLETA DOS DADOS .....	27
3.4 ANÁLISE DOS DADOS .....	27
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	28
4.1 BANCADA DE ENSAIO DE FADIGA ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO .....	28
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIO DE FADIGA.....	29
<b>4.2.1 Substituição do sistema de medição de ciclos</b> .....	29
<b>4.2.2 Implantação do medidor de carga</b> .....	31
<b>4.2.3 Sistema de absorção de impacto</b> .....	32

<b>4.2.4 Eletrônica .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.5 Programação .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.6 Aquisição dos dados do ensaio.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 BANCADA APÓS IMPLANTAÇÃO DOS SENSORES.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.1 Testes .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4 MANUAL DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A utilização de sensores na indústria cresceu consideravelmente nas últimas décadas, permitindo a melhoria no processo de produção e na qualidade dos produtos. O sensoriamento de equipamentos e ferramentas garante retorno preciso dos parâmetros, tanto dos processos quanto dos ensaios.

Os sensores digitais, por serem encontrados em vários tipos, funções, métodos de medição, valores, precisão, entre outros, apresentam vantagem em relação a métodos de medição analógicos. Conforme a tecnologia evolui, o preço desses sensores diminui, e aumentam a qualidade e a precisão dos mesmos.

Este trabalho é classificado como uma pesquisa ação, por realizar a construção de um sistema de aquisição de dados e sua implementação em uma bancada didática do laboratório de ensaios mecânicos da FAHOR. Está embasado na literatura disponível sobre o assunto e contribui para melhorar o entendimento do fenômeno de fadiga pelos estudantes e contribui para a formação acadêmica dos mesmos.

Neste sentido, o estudo visou implementar bancada de ensaios de fadiga com sensor Hall, para a mensuração dos ciclos do corpo de prova, e uma célula de carga, para efetuar a medição da carga aplicada sobre o corpo de prova. Para isto, foi utilizado o Arduino, responsável por processar os dados provenientes dos sensores e utiliza uma Macro para exportar os dados para o Excel, além de desenvolver um manual para demonstrar ao usuário como adquirir os dados dos ensaios no Excel.

## 1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema a instrumentação de uma bancada didática de ensaios de fadiga por flexo-torção.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema delimita-se ao estudo da instrumentação de uma bancada de ensaios de fadiga com um sensor Hall, para a mensuração dos ciclos do corpo

de prova e uma célula de carga para efetuar a medição da carga aplicada sobre o corpo de prova.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A atual condição da bancada do laboratório de Metalografia e Ensaios Mecânicos da FAHOR apresenta um contador analógico, que conta a quantidade de ciclos a que o corpo de prova é submetido até que haja falha por fadiga. Esse contador requer uma conexão física com o corpo de prova a ser ensaiado, e por muitas vezes ocorrem problemas ao acoplar o contador com o corpo de prova, além de ser limitado a 5 algarismos, que pode ser insuficiente, dependendo do material do corpo de prova.

A massa que submete o corpo de prova à flexão, por vezes não aplica efetivamente toda a força prevista, em decorrência de imperfeições na bancada entre outros fatores que prejudicam uma medição acurada dos parâmetros do ensaio.

Neste contexto, fez-se necessário responder a seguinte questão de pesquisa: A instrumentalização da bancada didática de fadiga e a criação de um sistema de aquisição de dados, que possam ser visualizados e manipulados no Microsoft Excel, contribuirão para o aprendizado dos acadêmicos da FAHOR?

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho, desenvolvido e implementado em uma bancada didática de ensaio de fadiga por flexo-torção do laboratório de Metalografia e Ensaios Mecânicos da FAHOR – Faculdade Horizontina, justifica-se pela necessidade de se obter dados mais precisos dos ensaios de fadiga e oferecer uma forma simples e clara para os estudantes analisá-los.

Dessa maneira, acredita-se que este trabalho conciliará o conhecimento aprendido pelo acadêmico em sala de aula com a prática, tornando-se uma ferramenta importante para o acadêmico compreender o fenômeno de fadiga na prática. Portanto, a realização deste trabalho espera

contribuir para o desenvolvimento de mais interesse sobre a realização de ensaios mecânicos por parte dos acadêmicos.

### 1.5 OBJETIVO GERAL

Instrumentar uma bancada didática de fadiga e criar um sistema de aquisição de dados, de forma que estes possam ser visualizados e manipulados no Microsoft Excel.

### 1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Coletar informações sobre ensaio de fadiga, Arduino, Microsoft Excel e os sensores que serão utilizados na bancada.
- Construir e programar um sistema de aquisição de dados com base na plataforma Arduino e integrá-lo a bancada.
- Desenvolver um manual com as instruções de como instalar e configurar os softwares para utilizar o sistema de aquisição de dados no Excel.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo abordou-se os embasamentos teóricos referentes a ensaios de fadiga, sensores, célula de carga, sensor de efeito hall, Arduino, Microsoft Excel e VBA macro.

### 2.1 FADIGA

A fadiga de um corpo metálico é definida como o enfraquecimento gradual de sua microestrutura, onde este enfraquecimento geralmente surge e evolui em função de cargas dinâmicas atuantes sobre o corpo. Esse fenômeno é o maior causador de falhas em estruturas que são submetidas a ciclos de carga e descarga a temperatura ambiente. (CATARINO, 2009).

Segundo Catarino (2009), o fenômeno de fadiga provoca uma alteração permanente e irreversível na microestrutura, sendo esta progressiva conforme os esforços aplicados no material. As falhas podem se concentrar em um ponto, podendo causar uma fenda no corpo, ou podem se apresentar em de forma distribuída sobre o material.

Ainda de acordo com Catarino (2009), o que tornam as falhas por fadiga mais perigosas, é que estas, muitas vezes, não apresentam nenhum sinal externo no corpo com antecedência. Muitas vezes as trincas não afloram sobre a superfície do corpo e quando aparecem, geralmente, o material está prestes a se romper. Não é possível saber onde vai surgir uma fratura do material, mas é possível localizar regiões do corpo que estão mais sujeitas a esse fenômeno, principalmente onde estão as áreas com maiores variações de geometria, conhecidas na engenharia como concentradores de tensão.

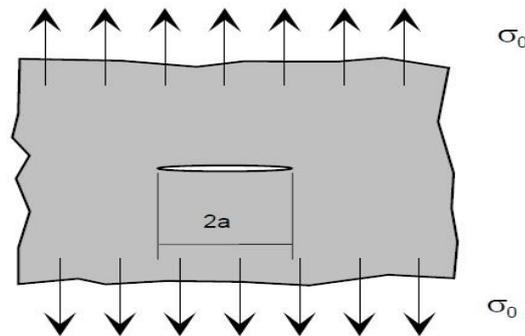
Rosa (2002), diz que, para uma trinca na estrutura do material se propagar é necessário que a tensão aplicada em seu corpo deva ultrapassar a força de coesão do próprio material, ou seja, a força que mantém seus átomos unidos. Essa força de coesão é determinada teoricamente como  $E^{10}$ , onde E é o módulo de elasticidade do material.

De acordo com Hibbeler (2000), para que um material não seja submetido a um carregamento repetitivo excessivo a sua resistência, é necessário determinar o limite de resistência à fadiga, ou simplesmente, limite

de fadiga. Esse limite é determinado de forma experimental, através de testes com corpos de prova. Os resultados desses testes são colocados em um gráfico, no qual é relacionado a carga aplicada com o número de ciclos até sua ruptura.

A Figura 1 demonstra uma trinca interna de um corpo submetido a um carregamento, que, conforme esta trinca progride, a secção transversal nessa área regride na mesma proporção. Quando a secção transversal dessa região é reduzida a uma área em que não consegue mais suportar a tensão submetida nesse ponto, ocorre a fratura do material.

Figura 1 - Trinca em uma placa, sob carga uniaxial.



**Fonte:** Rosa, 2002, p. 171.

### 2.1.1 Ensaio de fadiga

Zolin (2011), argumenta que o ensaio de fadiga se baseia em uma sucessão de cargas decrescentes que resultam em uma série de tensões alternadas no corpo de prova até que haja a ruptura do mesmo. Por meio do ensaio de fadiga, podem ser encontrados dois valores de grande importância:

- Limite de fadiga – É a tensão abaixo da qual a vida do material tende ao infinito.
- Resistência à fadiga – É a tensão na qual o material se rompe, em um número de ciclos determinado.

Ainda Zolin (2011), garante que o equipamento utilizado, basicamente se constitui de um sistema de aplicação de carga e um contador do número de

ciclos, que, quando o corpo de prova quebrar por fadiga, o contador finaliza a sua contagem. Alguns fatores exercem grande influência sobre a resistência à fadiga do material e não devem ser desprezados. São esses:

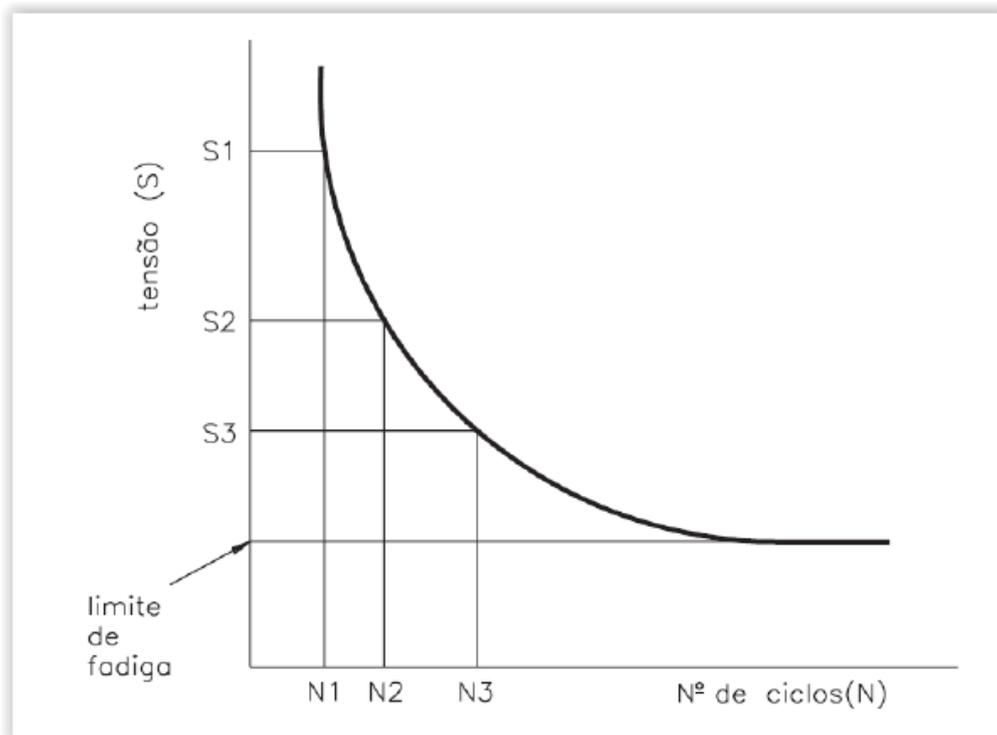
- Composição química e disposição da microestrutura cristalina do material.
- Frequência da tensão aplicada.
- Temperatura do meio e do sistema.
- Efeito das dimensões.
- Efeito da forma, como concentradores de tensão.
- Efeito do tratamento superficial.
- Efeito do meio.
- Efeito do atrito.

### **2.1.2 Curvas S-N**

A vida de fadiga de um material, peça ou estrutura é determinada pelo número de ciclos precisos para que haja sua ruptura. Testes de ensaios de fadiga geralmente tem seus resultados dispostos em uma curva S-N, ou também pode ser conhecida por curva de Wohler, que relaciona a tensão em que o corpo é submetido durante o teste com o número de ciclos que o corpo suportou até sua ruptura. Esta curva (Figura 2) facilita a análise dos resultados do ensaio, por exemplo, a partir de uma carga S1 é possível determinar o número de ciclos, N1, que o corpo suportará até se romper e assim consequentemente. (CATARINO, 2009).

Analisando a Figura 2, fica claro que o número de ciclos até a ruptura aumenta conforme a carga aplicada diminui, sendo possível notar que ao diminuir a carga de certo ponto, a curva parece tender a uma reta. Em função disso, o número de ciclos parece tender a um número muito grande. Esse ponto em que a tensão parece não provocar falha por fadiga é chamado de tensão limite de fadiga, ou resistência à fadiga.

Figura 2 - Curva S-N.



**Fonte:** Catarino, 2009, p. 70.

## 2.2 SENSORES

A palavra sensor pode ser interpretada como “aquilo que sente”. Na eletrônica sensores tem a mesma aplicação que seu nome sugere. Sensores são componentes ou até mesmo circuitos eletrônicos que possibilitam uma mensuração de uma condição ambiental específica, podendo ser grandezas quais estamos acostumados, como temperatura ou luminosidade até medições de eventos mais complexos e distantes, como detecção de partículas subatômicas e radiação espacial (PATSKO, 2006).

Para Patsko (2006) sensores são uma espécie de transdutor. Transdutor é todo componente que transforma um tipo de energia em outro, por exemplo, um motor é um tipo de transdutor, já que este, converte energia elétrica em energia mecânica, caso for um motor elétrico, ou energia química em energia térmica e energia mecânica, caso for um motor de combustão. Entretanto, um sensor pode ser considerado um tipo particular de transdutor, visto que, a maioria dos sensores transforma outros tipos de energia (calor, luminosidade,

som) em energia elétrica, utilizada para fazer uma leitura ou uma medição do ambiente.

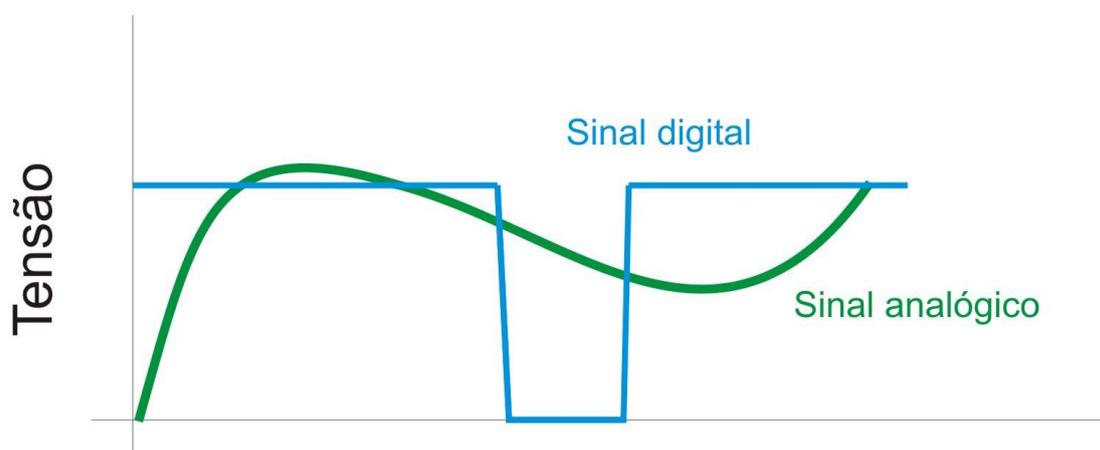
Para Wendling (2010) alguns sensores não possuem as características elétricas precisas para serem utilizados por algum sistema de processamento e controle. Nesses casos, o sinal de saída do sensor deve ser amplificado antes que este seja lido pelo sistema de controle, e essa amplificação do sinal geralmente é feita por um circuito de interface, de modo que possa ser interpretado pelo controlador.

Os sensores podem ser divididos em duas categorias, os sensores analógicos e os sensores digitais. Essa divisão se baseia na forma em que o sensor se comporta durante a variação da medição.

- Sensores analógicos possuem um sinal de saída que pode, teoricamente, assumir infinitos valores dentro de dois pontos de tensão, ou seja, para cada condição medida o sensor fornecerá uma tensão proporcional.
- Os sensores digitais possuem tensão de saída bem definidas. Essa tensão é descrita como Alta (HIGH) ou Baixo (LOW), ou também podem ser expressas em “1” e “0”, ou seja, sensores digitais utilizam lógica binária (PATSKO, 2006).

A Figura 3 correlaciona uma onda gerada de um sensor de sinal digital com a onda proveniente de um sensor analógico. Fica claro que o sinal analógico, pode assumir qualquer ponto de tensão. Em contrapartida o sinal digital só pode assumir alta ou baixo.

Figura 3 - Relação entre sinal digital e sinal analógico.

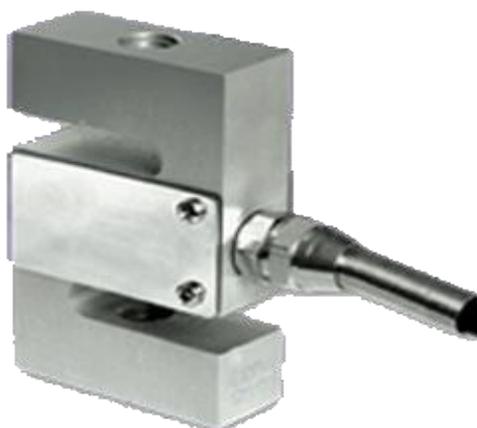


Fonte: Patsko, 2006, p. 2.

### 2.2.1 Células de carga

Células de carga são equipamentos projetados e construídos para suportar esforços e se deformar dentro do seu regime elástico, mesmo que essa deformação seja pequena gera um sinal linear e compatível com a carga aplicada. O princípio de funcionamento das células de carga é dado em função da variação da resistência ôhmica de um extensômetro, também conhecido como strain gauge, quando este for deformado. Dessa forma a célula de carga mede a deformação da peça a ser medida através de sua própria deformação. A Figura 4 exibe uma célula de carga para esforços de tração, do tipo S (THOMAZINI, 2007).

Figura 4 - Célula de carga, tipo S.



**Fonte:** [http://www.mkcontrole.com.br/prd\\_celcarga.html](http://www.mkcontrole.com.br/prd_celcarga.html).

Extensômetros são baseados no efeito piezoresistivo presentes em alguns materiais, quando submetidos a uma tensão. Quando estendidos ou comprimidos, esses dispositivos tendem a mudar sua resistência a passagem de corrente elétrica. Podendo medir deslocamentos na faixa de 0 – 50  $\mu\text{m}$ , são comumente utilizados como transdutores de força, pressão, etc. Os strain gauges mais comuns são constituídos de um fio metálico, disposto em forma de zig-zag, montado em uma folha flexível. O fio geralmente possui uma seção transversal circular, que é deformada quando uma tensão mecânica é aplicada sobre ele, mudando essa área, muda também a resistência do condutor. Strain

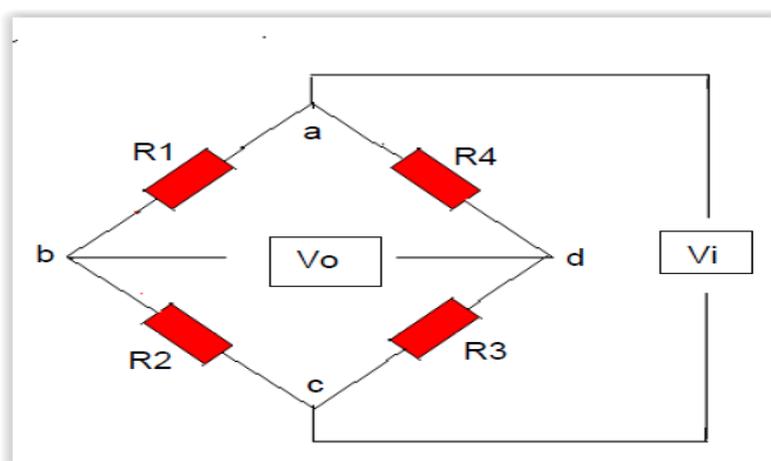
gauges são largamente utilizados para medir deformações, e quando empregados juntos, como pontes de Wheatstone, podem ser utilizados para mensurar pressão, tensão e força (SEIDEL, 2011).

Para Thomazini (2007) extensômetros possuem uma resposta em frequência relativamente boa. São capazes de serem usados para mensurações estáticas e dinâmicas, podem ser alimentadas com CC e CA e permitem que seu sinal de saída seja convertido de analógico para digital, possibilitando que a grandeza medida possa ser exibida em um display de LEDs e em unidades numéricas e alfabéticas.

Em células de carga, usualmente são empregados, quatro extensômetros conectados entre si, na disposição de ponte de Wheatstone (o que ajuda evitar interferências da temperatura nas medições) e o desbalanceamento dela em relação a deformação dos extensômetros, que é proporcional à força aplicada (THOMAZINI, 2007).

A Figura 5 representa uma ponte de Wheatstone, onde R1, R2, R3 e R4 são resistores, ou nesse caso, extensômetros. Uma tensão “ $V_i$ ” é aplicada nos pontos “a” e “c”, e o sinal de saída “ $V_o$ ” é adquirido nos pontos “b” e “d”. Quando todos os extensômetros apresentam a mesma resistência, diz-se que a ponte está balanceada, portanto a tensão de saída “ $V_o$ ” será zero. Da mesma forma, quando uma das resistências mudar em relação as outras, surgirá um desequilíbrio entre os pontos “b” e “d” e conseqüentemente uma diferença de tensão.

Figura 5 - Ponte de Wheatstone



Fonte: Weber, 2008, p. 6.

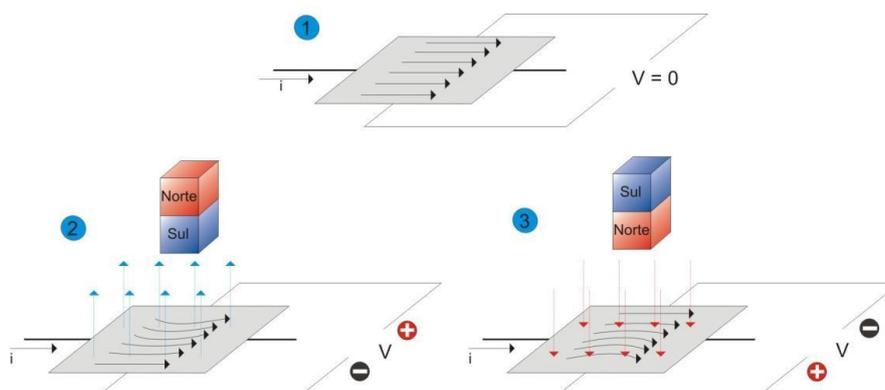
### 2.2.2 Sensor Hall

O efeito Hall leva o nome de seu descobridor Edward E. Hall. Sensores de efeito Hall são componentes construídos com semicondutores, que sofrem interferência de campos magnéticos. O princípio físico do efeito Hall, se dá pela passagem de uma corrente elétrica por uma placa condutora, onde um campo magnético normal à placa cria uma diferença de potencial nas laterais da placa essa diferença de potencial é conhecida por tensão de Hall (THOMAZINI, 2007).

Praticamente todos materiais condutores podem apresentar o efeito Hall, porém ele é mais visível em materiais semicondutores. Todavia, semicondutores demonstram muitas variações entre os lotes e para amenizar essa diferenças torna-se necessário utilizar um circuito eletrônico para regular a tensão de Hall para um valor calibrado. Os sensores de efeito Hall se destacam na medição de campos magnéticos em relação as outras formas de medição, pois possibilitam tanto a mensuração de campos contínuos, quanto campos alternados, sem a necessidade de mudar de instrumento. (THOMAZINI, 2007).

A Figura 6 exemplifica o efeito Hall em uma placa condutora. No item 1, sem a influência de um campo magnético, a corrente elétrica passa pela placa normalmente. Os itens 2 e 3 demonstram a presença de um campo magnético perpendicular a placa, distorcendo o fluxo da corrente e deslocando os elétrons para uma das laterais, criando assim, uma diferença de potencial entre as laterais.

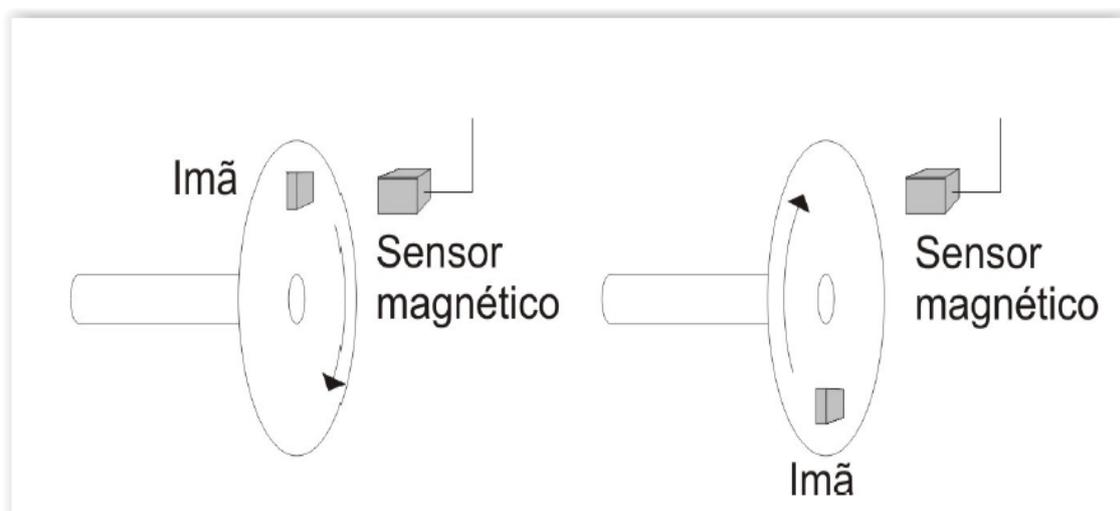
Figura 6 - Interferência de um campo magnético em uma placa condutora.



**Fonte:** Patsko, 2006, p. 61.

Patsko (2006), observa que sensores baseados no efeito Hall são comumente empregados em indústrias, como sensores de posição, por serem duráveis e confiáveis. Para isso, é necessário colocar um ímã no mecanismo que se deseja monitorar o deslocamento e posicionar um sensor para detectar o quanto o campo magnético aumenta ou diminui. Outra aplicação frequente é a medição de revoluções de um motor ou de um eixo qualquer, com um ímã disposto no eixo, e um sensor alocado próximo o suficiente, para captar o campo magnético a cada rotação, de acordo com a Figura 7.

Figura 7 - Mensurando rotações com sensor Hall.



**Fonte:** Patsko, 2006, p. 59.

### 2.3 ARDUINO

Banzi (2011) afirma que o Arduino é uma plataforma de computador físico baseado em uma simples placa de entradas e saídas e um ambiente de desenvolvimento que implementa a linguagem *processing*. O projeto Arduino é composto de duas partes principalmente: a placa Arduino, que se trata do hardware onde é feita a prototipagem; e a segunda parte se trata do IDE, o software onde é feito o *sketch*, ou seja, a programação da placa.

### 2.3.1 A placa Arduino

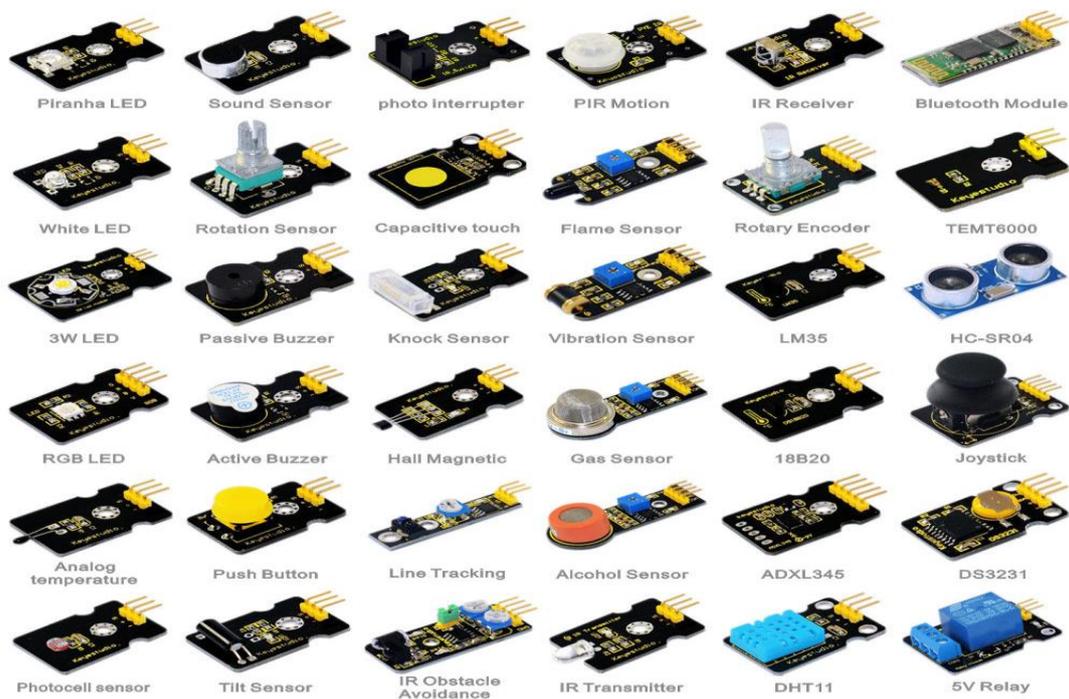
De acordo com McRoberts (2011) a placa Arduino é constituída principalmente de um microprocessador Atmel AVR, um cristal oscilador (basicamente um relógio que envia pulsos em uma frequência determinada, de modo que possibilita a operação do processador na velocidade correta) e um regulador de tensão linear de 5 volts. A maioria dos modelos do Arduino possuem uma porta USB, que possibilita sua conexão com o computador para o upload do código e o recebimento de dados quanto para a alimentação da placa.

Segundo McRoberts (2011), Arduino é um computador compacto que pode ser programado para processar entradas e saídas de componentes externos conectados a ele, ou seja, capaz de receber e processar dados de sensores e outros dispositivos conectados a ele. O Arduino também pode ser considerado uma plataforma de computação física ou embarcada, ou em outras palavras, é um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software. Tomando por exemplo, a necessidade de ligar uma lâmpada por um período de tempo específico depois que um botão for pressionado o Arduino esperaria pelo tempo que for preciso até que o botão seja pressionado e quando o Arduino detectar que o botão foi pressionado, ele acenderia a lâmpada e começaria a contar o tempo, desde o momento que a lâmpada for ligada. Quando essa contagem atingir o tempo que foi programado o Arduino desliga a lâmpada.

O Arduino pode ser aplicado em uma ampla gama de situações, como por exemplo, ligar LEDs, displays, sensores de todos os tipos (temperatura, pressão, distância, luminosidade), até equipamentos mais complexos como receptores GPS e módulos Ethernet, de modo que possa transmitir e receber dados de um computador específico e inclusive da internet, podendo enviar dados da leitura de sensores para um site na internet onde poderão ser exibidos em forma de gráfico, por exemplo (MCROBERTS, 2011).

A Figura 8 apresenta alguns sensores, também conhecidos por módulos, fabricados pela empresa keyestudio, especialmente para serem utilizados com o Arduino.

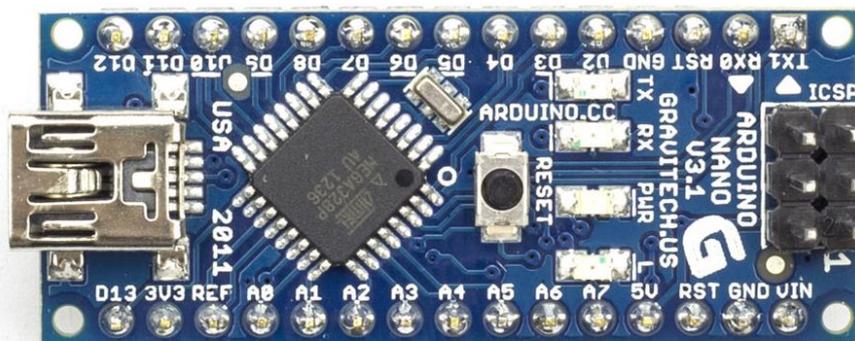
Figura 8 - Alguns tipos de sensores utilizados no Arduino.



Fonte: Keyestudio.cc.

O modelo Nano (Figura 9) é uma das menores placas do Arduino, fabricado especialmente para ser usado em espaços reduzidos e em placas de testes. A versão 3.0 do Arduino Nano dispõem de uma porta USB, do tipo mini, integrada. A alimentação de energia da placa é fornecida pela porta USB, porém, também pode ser alimentado com uma tensão entre 6V e 20V, pelo pino 30, ou uma tensão de 5,5V pelo pino 27 e a placa selecionará a maior tensão. (Evans, 2013).

Figura 9 - Arduino Nano.



Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>.

Por ser uma plataforma de código aberto (open-source), os usuários do Arduino ficam livres para acessar o projeto, podendo modificá-lo e inclusive comercializar essas modificações. Esse fator colaborou para que várias empresas pudessem produzir sua própria versão do Arduino e vendê-las. Mesmo que o projeto seja open-source, o nome Arduino é registrado e isso impede que essas variantes utilizem o nome (EVANS, 2013).

A IDE (Integrated Development Environment) é parte de software do Arduino e é nela que é realizada toda a parte de programação, que posteriormente é executada na placa. A grande vantagem da IDE em relação a outros softwares é que a programação feita na IDE é baseada na linguagem processing, de modo que esta seja mais simples para o usuário, e o próprio programa traduz esse código para a linguagem C (que é muito mais complexa para o usuário que não é programador). Feita a tradução de processing para C, finalmente, o programa faz a última tradução para uma linguagem que o microcontrolador possa entender. Portanto o diferencial do Arduino IDE é que essas mudanças de linguagens e códigos são automáticas e não visíveis pelo usuário (BANZI, 2011).

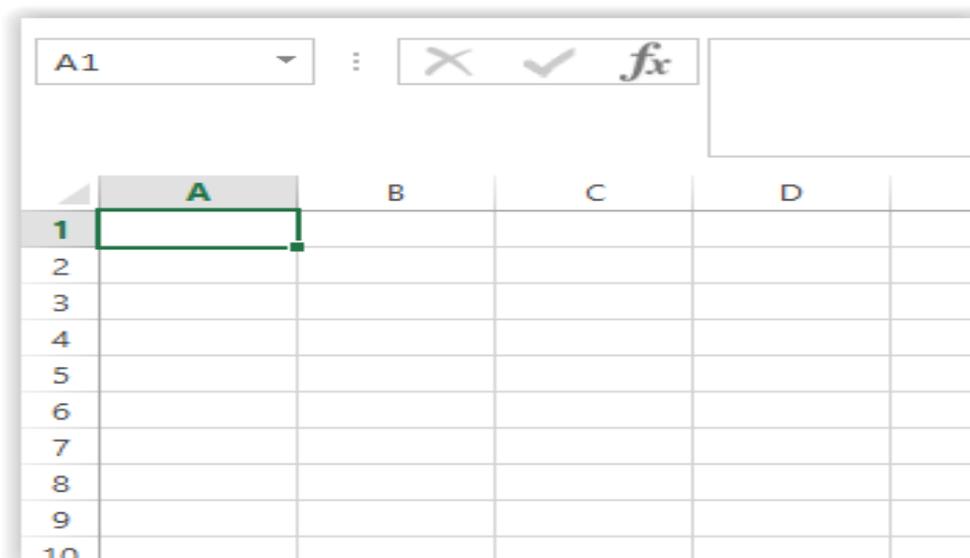
## 2.4 MICROSOFT EXCEL

O Excel é um software de planilha desenvolvido pela Microsoft para o sistema operacional Windows que permite fazer uma série de cálculos, operações matemáticas, análises de dados, projeções, relatórios, gráficos, tabelas, entre outros. Cada planilha do Excel é constituída de linhas e colunas, sendo que, as colunas de cada planilha são nomeadas com letras, que vão do A até IV, e as linhas são ordenadas por números. Cada planilha possui 65.536 linhas (STELLA, 2007).

Para Stella (2007) cada cruzamento entre uma coluna e uma linha gera uma célula. São as células que contém os dados e as fórmulas matemáticas. As operações e relacionamentos entre células apenas é possível, por que, cada célula tem uma identificação que a torna única em relação as outras. Essa identificação é o endereço da célula na planilha, ou seja, é a letra da coluna em que ela se encontra e o número da linha que intercepta a coluna,

por exemplo, a célula formada pela coluna A e a linha 1 é chamada de célula A1, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Representação da célula A1.



**Fonte:** Software Microsoft Excel.

#### 2.4.1 VBA Macro

Macro ou rotina é um programa que realiza instruções dentro do Excel, sendo que um Macro pode ser classificado como: sub-rotina, função ou procedimento de evento. Macros muitas vezes se tornam necessárias quando procedimentos repetitivos, longos ou até mesmo um conjunto de tarefas a serem realizados em uma ordem específica, devem ser desenvolvidos no Excel (SENAC-RS, 2010).

Macros são programadas em uma linguagem de programação da Microsoft chamada VBA, do inglês “Visual Basic for Applications”. O “for Applications” do VBA faz referência a versatilidade da linguagem, pois qualquer software da Microsoft como o Excel, Word, Access e inclusive alguns outros que são desenvolvidos por outros, podem ser alterados e programados por VBA. Todos os usuários do Microsoft Office podem programar, basta ter algum produto do Office aberto (Word, Excel, PowerPoint) e pressionar Alt+F11 (OTSUKA, 2012).

Walkenbach (2010) ressalta que, para criar uma Macro simples no Excel, o usuário não precisa ter conhecimento em programação em VBA, pois o software possui uma função que grava as ações do usuário e as converte em VBA macro. Quando essa Macro for executada, a ação será repetida automaticamente pelo Excel.

Para Otsuka (2012) a grande vantagem em utilizar VBA é sua ampla compatibilidade com outras linguagens, pois com programação torna-se possível importar e exportar informações de outras fontes, incluir bibliotecas que se valem de outras linguagens, fazer cálculos, criar interfaces personalizadas, etc. Além disso, o arquivo pode ser gravado e executado posteriormente em qualquer outro computador com o software em questão.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a metodologia utilizada para realização da instrumentação da bancada de ensaios de fadiga por flexo-torção, bem como a classificação da pesquisa empregada no desenvolvimento do trabalho, a metodologia da coleta dos dados e análise destes.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos, internet, dissertações sobre o tema em questão, com o objetivo de coletar informações prévias sobre o assunto. De maneira que, fossem encontradas soluções para resolver os problemas de pesquisa.

Partindo dessa proposta, foi definido que há a necessidade de fazer uma medição precisa do número de ciclos a que o corpo de prova é submetido até a sua ruptura e uma mensuração da carga aplicada sobre ele durante os ciclos.

Considerando o que foi exposto, este TFC é caracterizado como uma pesquisa aplicada e descritiva por prever melhoria no sistema e implementação da bancada.

#### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi classificado como pesquisa aplicada em função da implementação da bancada de fadiga e composta pelas seguintes etapas:

- Levantar os dados e informações sobre a bancada de fadiga e os parâmetros pertinentes aos ensaios a serem mensurados.
- Analisar a situação atual da bancada e prever melhorias e aprimoramentos do sistema.
- Realizar a implementação dos sistemas de medição da bancada, de modo que todos os parâmetros provenientes dos ensaios sejam confiáveis.

### 3.3 COLETA DOS DADOS

Os dados foram coletados por meio de pesquisa aplicada, realizando-se testes com a necessidade de apresentar parâmetros de forma clara e objetiva, para isso, os valores coletados durante os testes foram exibidos em um display LCD fixado na própria bancada que podem ser exportados, em tempo real, para uma planilha do Excel.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em material já publicado, constituído de livros, artigos, periódicos e material disponibilizado na Internet.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi de quantitativa, por meio da correlação entre as medições provenientes dos ensaios realizados na bancada, antes e após sua implementação com sensores.

A partir da análise, constatou-se que houve melhora na precisão da coleta dos dados tanto em relação à precisão como na apresentação dos mesmos.

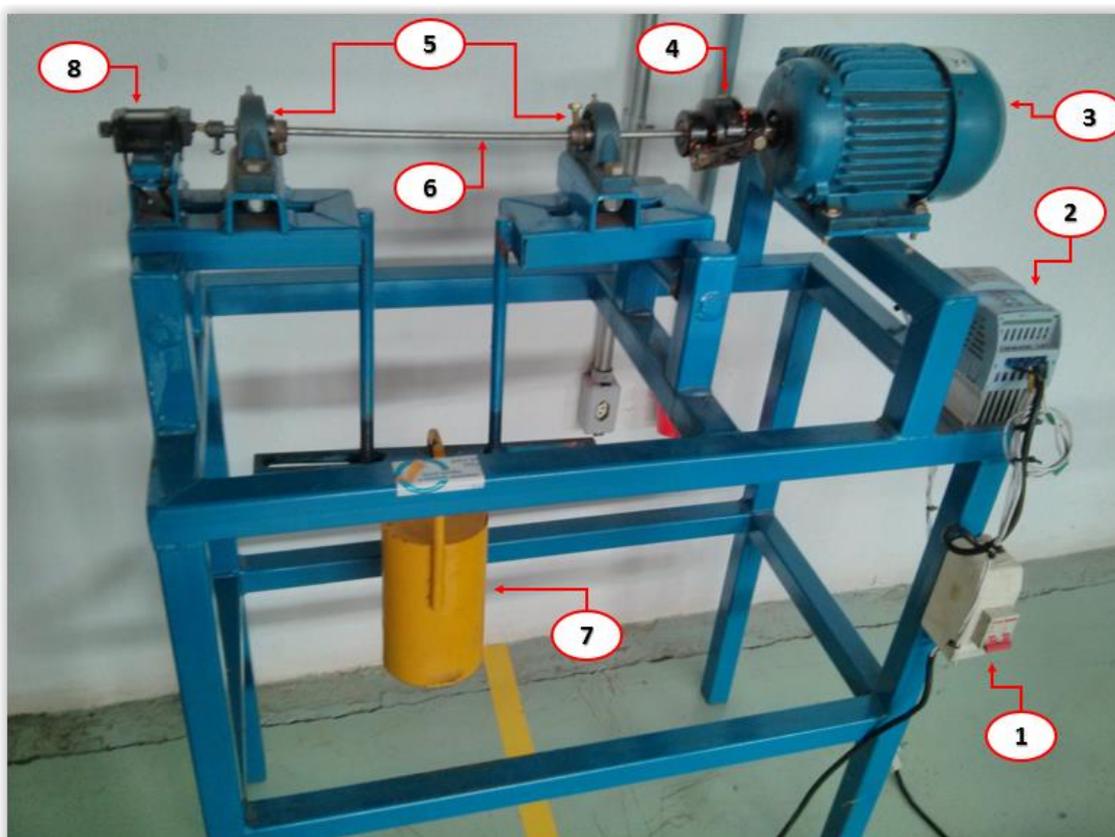
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo descreve e analisa os resultados da instrumentação da bancada de ensaios de fadiga por flexo-torção do laboratório de ensaios mecânicos da FAHOR.

### 4.1 BANCADA DE ENSAIO DE FADIGA ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO

A Figura 11 apresenta a bancada de fadiga, localizada no laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos, antes das alterações.

Figura 11 – Fotografia da bancada antes da implementação.



Onde:

1 – Disjuntor: Utilizado como chave liga/desliga, também exerce a função de dispositivo de segurança, desligando-se caso haja sobrecarga elétrica no sistema.

2 – Inversor de frequência: Controla o número de rotações do motor elétrico.

3 – Motor elétrico: Modelo Voges com potência de 1 CV, frequência de 60 Hertz, tensão de operação de 380 V e rotação máxima de 3415 rpm. É responsável por rotacionar o corpo de prova.

4 – Acoplamento: Modelo Acriflex AG, constituído por dois cubos simétricos de ferro fundido, separados por um elemento elástico. Faz a conexão entre o eixo do motor e o corpo de prova, corrigindo possíveis desalinhamentos e absorvendo vibrações.

5 – Mancal com rolamento: Comporta o corpo de prova e reduz os atritos durante sua rotação.

6 – Corpo de prova: É o material que será ensaiado.

7 – Massa: Realiza uma força vertical, descendente, proporcional ao seu peso. Essa força flexiona o corpo de prova.

8 – Contador analógico: Modelo H – 100 Marberg, de 5 algarismos, utilizado para contar os ciclos do corpo de prova durante os ensaios.

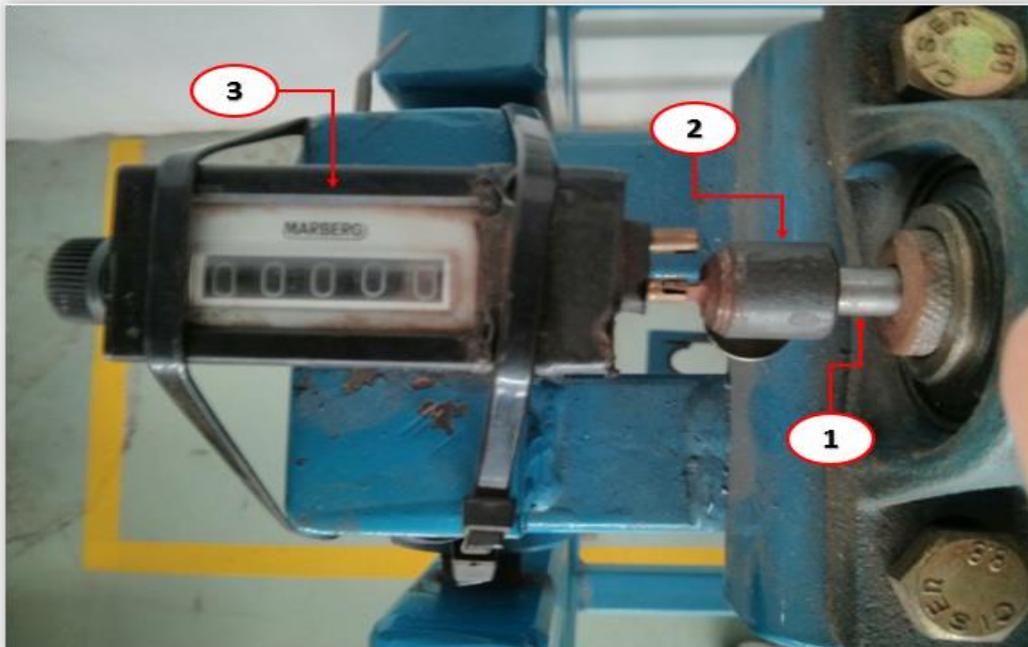
## 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIO DE FADIGA

Este capítulo apresenta a instrumentação da bancada, de forma detalhada. Descrevendo minuciosamente o que foi modificado na bancada, em função da instrumentação.

### 4.2.1 Substituição do sistema de medição de ciclos

Uma das propostas do trabalho foi tornar a aquisição dos parâmetros de ensaio, totalmente digitais. Dessa forma houve a necessidade da substituição do sistema de contagem de ciclos predecessor, que tornou necessário a conexão de uma bucha no corpo de prova, sendo fixada por meio de um parafuso M6, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Fotografia do contador de ciclos analógico.



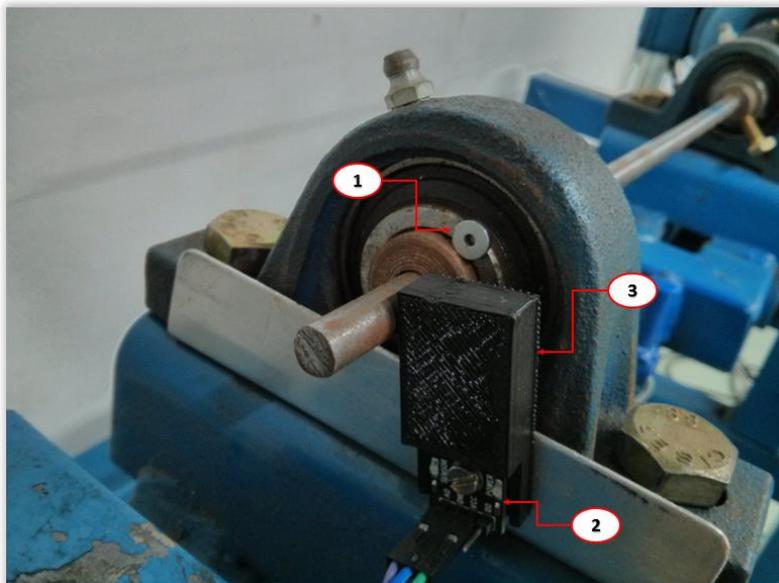
Onde:

- 1 – Corpo de prova.
- 2 – Bucha conectora.
- 3 – Contador analógico.

Esse sistema gerava problemas de desacoplamento durante os testes, tornando a contagem dos ciclos imprecisa. Outro fator problemático era a necessidade da remoção do medidor para ser possível alocar o corpo de prova no rolamento. A fixação do contador na bancada também contribuía para a suscetibilidade de erros de medições, pois era preso na bancada através de cintas Hellermann.

Para resolver os problemas acima citados, foi utilizado um sensor de efeito Hall, que como citado na revisão bibliográfica, é usado para detectar campos magnéticos. Dessa forma, um ímã de neodímio foi fixado no mancal do rolamento. Desse modo, a cada revolução que o corpo de prova realiza, o ímã passará pelo sensor Hall, que por sua vez incrementará o contador. Para proteger o sensor Hall de agentes externos como poeira e umidade, uma caixa protetora (Figura 13) foi projetada no software SolidWorks e impressa em uma impressora 3D.

Figura 13 – Fotografia do novo sistema de contagem de ciclos.



Onde:

- 1 – Ímã de neodímio.
- 2 – Sensor de efeito Hall.
- 3 – Caixa protetora do sensor.

As modificações resolveram os problemas citados, pois agora todas as partes que fazem a leitura das rotações estão devidamente fixadas na bancada e não necessitam ser removidas para a colocação do corpo de prova.

#### 4.2.2 Implantação do medidor de carga

O sistema anterior requeria que o operador possuísse o conhecimento prévio do valor da massa, isso tornava necessário a utilização de uma balança, para que dessa forma, fosse possível calcular a carga que iria flexionar o corpo de prova. Para corrigir isso, uma célula de carga foi empregada para fazer a medição do valor da massa. Esta célula de carga foi escolhida de modo que, suporte esforços de tração de até 50 kgf, cerca de 490 N.

O modelo que atendeu os requisitos foi a célula de carga do tipo S, CSAZL-50 (Figura 14), fabricada pela MK Controle e Automação LTDA. Esse modelo possui sensibilidade nominal de  $2 \pm 0,02$  mV/V, erro de fluência (20 minutos) igual a 0,03%, tensão de trabalho entre 9 e 12 VDC, sobrecarga

admissível de 150% do valor da sua capacidade nominal e sobrecarga de ruptura de 200% do valor de sua capacidade nominal. Como amplificador do sinal da célula de carga para ser interpretado pelo Arduino, optou-se pelo módulo amplificador HX711.

Figura 14 – Fotografia da célula de carga CSAZL-50.



Com a utilização da célula de carga, o problema de medição, foi extinto, pois a massa passou a ser medida pela própria bancada, antes e durante os testes, tornando desnecessário a utilização de outros métodos de medição de massa e força.

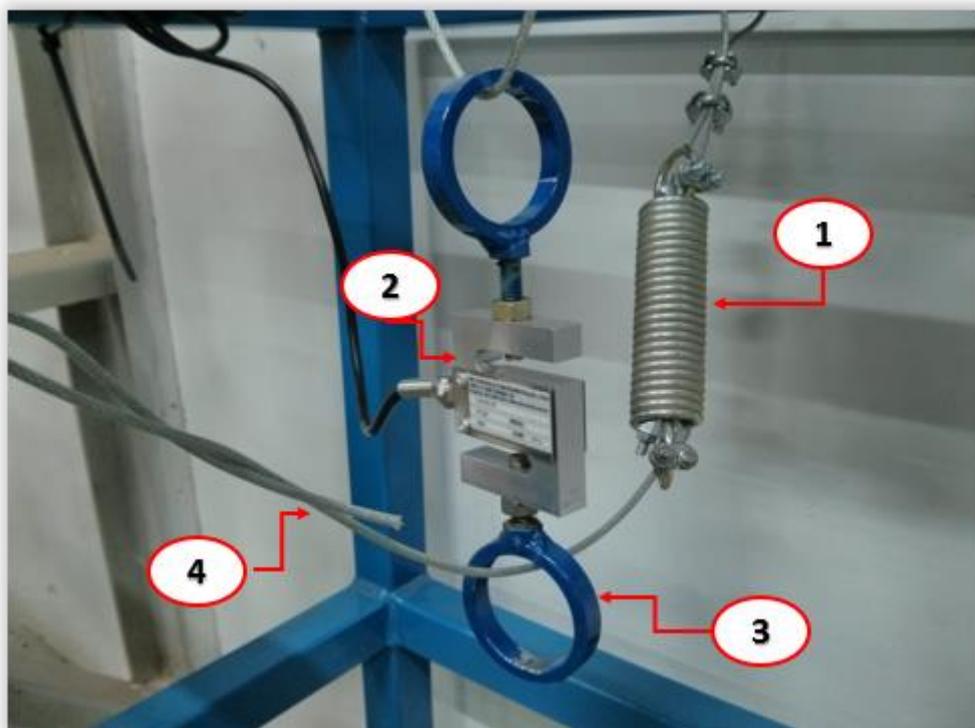
#### 4.2.3 Sistema de absorção de impacto

Houve a necessidade de criar um sistema que evitasse impactos mecânicos na célula de carga, quando o corpo de prova rompe. Pois a célula de carga possui uma tolerância de 150% de sua capacidade nominal, para que não ocorra sobrecarga na mesma. Em outras palavras, sabendo que sua capacidade de carga nominal é 50Kgf (Aproximadamente 490 N), aos 75Kgf (Aproximadamente 735 N) de carregamento, tanto de compressão quanto de tração, a deformação no corpo da célula passa do regime elástico (que é o seu

regime de trabalho), para o regime plástico, provocando deformações permanentes na célula.

Para evitar sobrecargas por impacto, foi utilizado um cabo de aço com diâmetro de 3/32" (2,38 mm), 6x7 + AF 1+6, com carga de ruptura, de 340 Kgf (aproximadamente 3334 N), para garantir maior segurança, uma mola helicoidal de extensão com capacidade máxima de carga, de 50N, foi utilizada, associada com o cabo. O conjunto foi montado da seguinte forma: uma extremidade do cabo de aço foi fixada em um tubo da estrutura da bancada, passou pelo anel que acopla a massa com a célula de carga, foi fixado em um dos terminais da mola com clip. Para fixar os cabos de aço, passou-se os mesmos por dentro da mola, de forma que, houvesse uma sobra de cabo, para então, fixá-lo no outro terminal da mola. A outra extremidade do cabo foi fixada no tubo da estrutura (Figura 15).

Figura 15 – Fotografia do sistema anti-impacto.



Onde:

- 1 – Mola.
- 2 – Célula de carga.
- 3 – Anel de acoplamento.
- 4 – Cabo de aço.

Essa configuração foi escolhida, por garantir que quando o corpo de prova romper abruptamente pelo efeito de fadiga, a força que a massa em queda provocara não será transmitida para a célula de carga e sim para o sistema cabo-mola. Esse dispositivo também apresenta a vantagem de assegurar, que mesmo que a mola quebre ou haja uma tensão demasiada, o cabo de aço atuara como um batente e limitará a deformação da mola, garantindo maior segurança para quem estiver conduzindo o ensaio.

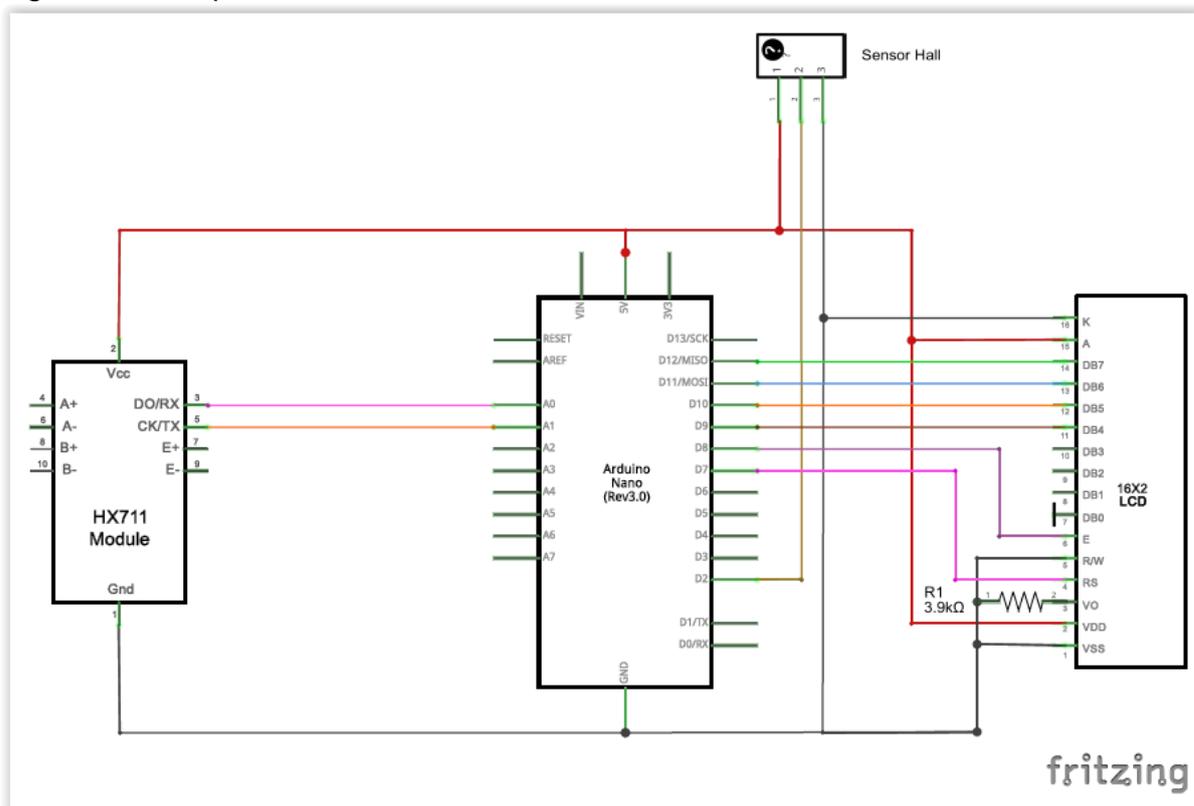
#### **4.2.4 Eletrônica**

A parte eletrônica da bancada é constituída dos seguintes itens:

- Célula de carga CSAZL-50;
- Modulo amplificador HX711;
- Sensor de efeito Hall;
- Display LCD 16x2;
- Arduino Nano;
- Fonte DC 12V, 1A.

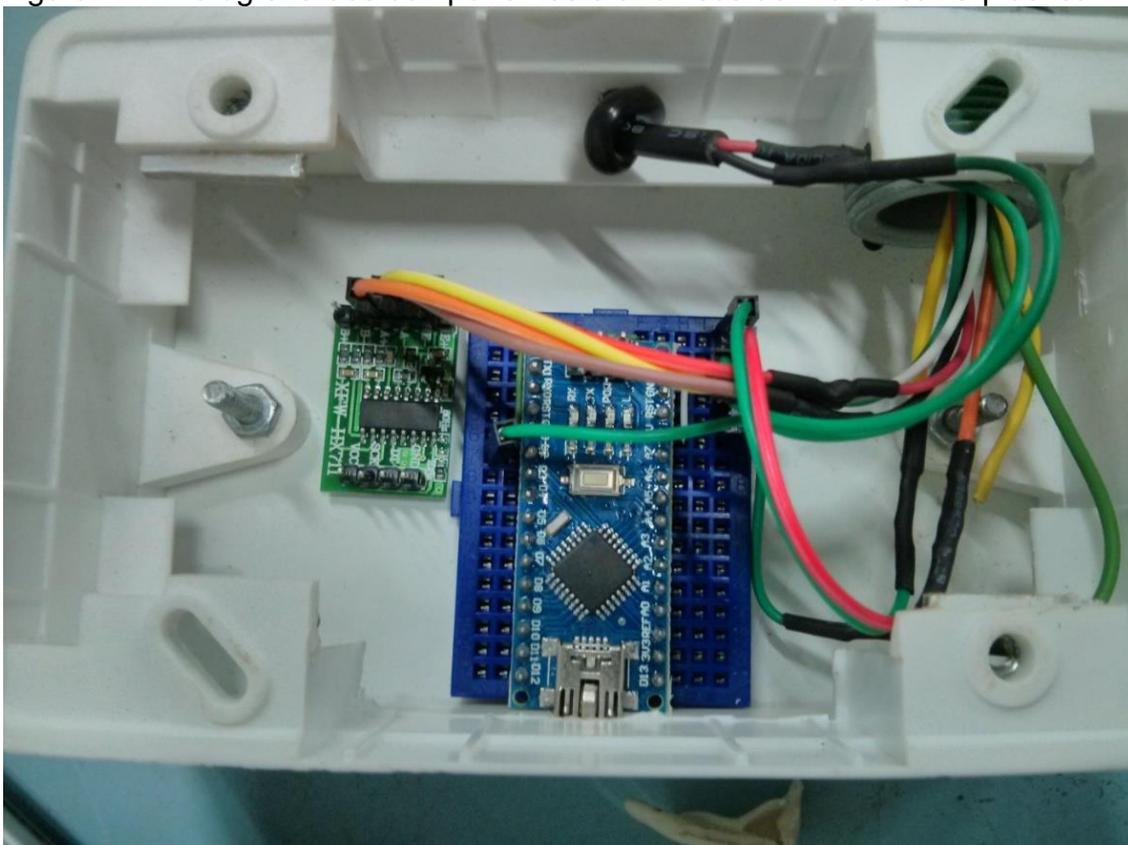
Primeiramente foi desenvolvido o esquema elétrico do circuito no software Fritzing, para auxiliar a montagem do mesmo posteriormente (Figura 16).

Figura 16 - Esquema elétrico do circuito.



Os componentes foram alocados dentro de uma caixa plástica, com exceção dos sensores. Dentro da caixa o Arduino Nano foi acoplado em uma protoboard de 170 pontos, e os demais componentes foram conectados na protoboard, conforme ilustrado na Figura 17. O módulo amplificador HX711 que faz a amplificação do sinal proveniente da célula de carga, foi disposto ao lado esquerdo da protoboard e conectado ao Arduino.

Figura 17 – Fotografia dos componentes eletrônicos dentro da caixa plástica.



O terminal 5V da fonte de energia foi conectado diretamente no Arduino e dessa forma basta ligar a fonte na tomada para alimentar o sistema eletrônico.

Foi tomado o cuidado de realizar um corte lateral na caixa, para que a porta USB do Arduino ficasse acessível, pois é por ela que o Arduino se comunica com o computador quando utilizado o sistema de aquisição de dados. Um corte na tampa da caixa também foi executado, de forma que o display LCD ficasse visível, como observa-se na Figura 18.

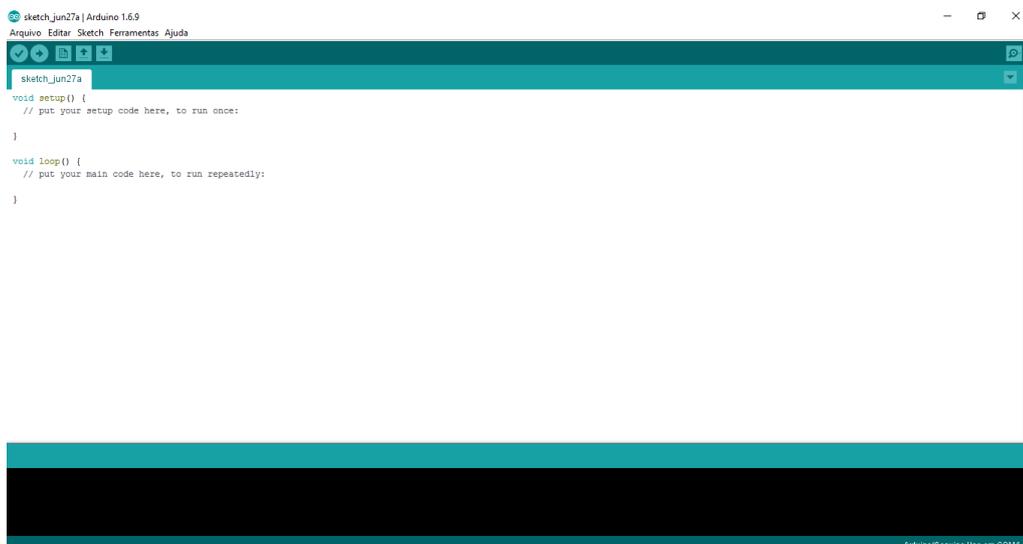
Figura 18 – Fotografia da caixa dos componentes eletrônicos.



#### 4.2.5 Programação

A programação do Arduino foi realizada no próprio software do Arduino IDE (Figura 19), utilizando uma linguagem baseada em C++. Na programação visou-se desenvolver um código (Apêndice A) que comporte as necessidades propostas no trabalho. Sendo assim, criou-se um contador que incrementa uma unidade, cada vez que o sensor hall detecta o campo magnético do imã, e considera essa detecção um ciclo completo. Já os valores da célula de carga, que chegam ao Arduino em unidades de grama, são divididos por 1000, de modo que, se converta para Kg e posteriormente, multiplicados por 9,81 (aproximadamente a aceleração da gravidade) para obter-se o valor em Newtons.

Figura 19 - Software Arduino IDE.



Os valores da quantidade de ciclos e da força aplicada é exibida em um display LCD de 16 colunas e 2 linhas, sendo que na primeira linha os ciclos são expostos e na segunda, a carga. Os valores também são transferidos para o Excel, por meio de um cabo USB. Na planilha do Excel os dados são dispostos em colunas, onde na primeira coluna é exibido o número do ensaio, na segunda coluna, os números de ciclos são mostrados e na terceira coluna, a carga aplicada é exposta. O código ainda, entende que, caso não seja detectada nenhuma rotação no período de 1 minuto, o ensaio acabou e irá incrementar uma linha no Excel com a contagem zerada, aguardando o próximo ensaio. A contagem, porém, permanecerá estática no display LCD até que o outro ciclo comece.

#### 4.2.6 Aquisição dos dados do ensaio

Para exibir os parâmetros dos testes, foi instalado na bancada um Display LCD 16x2, o qual apresenta, na primeira linha, o número de ciclos que o corpo de prova sofreu e na segunda linha a carga que está flexionado o corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 20:

Figura 20 – Fotografia do display LCD.



O display LCD mostra os dados durante e após o ensaio. Porém quando este outro ensaio é iniciado o display zera e começa a exibir os dados do novo ensaio. Entretanto a proposta do trabalho abrange a utilização de outra ferramenta útil, o Excel. Com a utilização da Macro desenvolvida pelo Roberto Valgolio, chamada Arduino\_Excel, é possível carregar esses dados em uma planilha do Excel.

A Figura 21 mostra a planilha onde os dados dos ensaios serão exibidos.

Figura 21 - Planilha de exibição de dados.

	A	B	C	D
1	Ensaio de fadiga por flexo-torção			
2	Ensaio	Ciclos	Carga (N)	
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Ao utilizar o Excel, o acadêmico, pode criar tabelas e gráficos para melhor visualizar os resultados, e a possibilidade de manipular esses valores com operações matemáticas.

### 4.3 BANCADA APÓS IMPLANTAÇÃO DOS SENSORES

A Figura 22 apresenta a bancada, já instrumentada com o sistema de aquisição de dados.

Figura 22 – Fotografia da bancada após a implementação.



#### 4.3.1 Testes

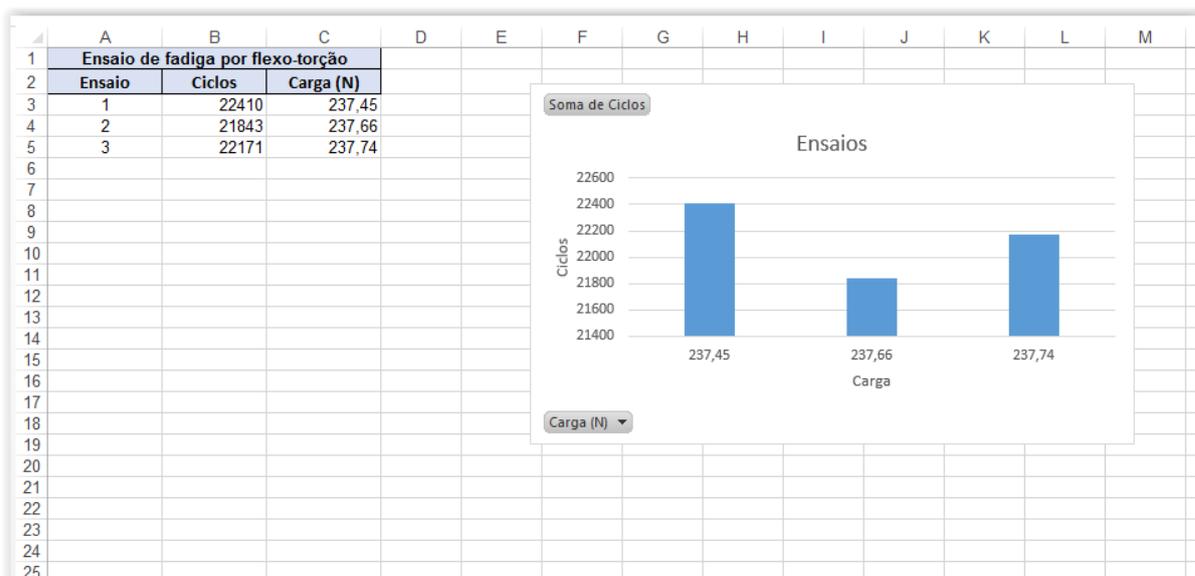
Após as modificações necessárias terem sido feitas, alguns testes foram realizados, com o intuito de validar e testar as alterações. Primeiramente foi feito uma comparação entre o contador feito com o sensor Hall e o valor de rotação que o inversor de frequência informava. Para isso, iniciou-se a rotação

do corpo de prova durante o período de um minuto e então foi comparado com o valor de rpm (rotações por minuto) que o inversor informou. Observou-se que, os valores coincidiram, validando a contagem feita pelo sensor Hall.

Uma calibração da célula de carga foi necessária, de forma que, ajustando valores no código, fosse possível estabelecer um sinal de referencia, que seria considerado como zero, ou seja, a tara. A calibração foi feita fazendo a média de dez medições de um objeto de massa conhecida, com a célula de carga, e dividindo pelo valor efetivo da massa, de maneira a se obter um fator de correção.

Com o objetivo de testar o sistema de aquisição de dados afim de constatar possíveis incoerências no código, três ensaios foram feitos com corpo de prova de aço SAE 1020 trefilado, com uma força de flexão de 237 N. os resultados dos ensaios foram carregados, usando o sistema de aquisição de dados, em uma planilha do Excel. E simultaneamente eram exibidos no display LCD, situado na bancada. No final de cada teste as informações exibidas no Excel e no LCD eram conferidas para ver se condiziam entre si. Um gráfico comparando os resultados dos ensaios também foi feito no Excel. Conforme a figura 23.

Figura 23 - Planilha com dados dos ensaios.



Constatou-se que as medições de carga oscilavam um pouco durante os testes. Essas variações de medição se dão em função das vibrações causadas pela bancada em funcionamento e são valores muito pequenos em comparação com a carga aplicada, sendo na casa dos décimos de Newton.

#### 4.4 MANUAL DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Após a implementação da bancada foi desenvolvido um manual (Apêndice B) simples e detalhado, contendo, desde recomendações de segurança até instruções para instalar os softwares requeridos para utilizar o sistema de aquisição de dados dos ensaios. O manual demonstra, com imagens, o passo a passo das ações, que devem ser tomadas pelo usuário. No manual também se encontra o link para baixar os softwares requeridos.

Uma cópia do manual foi impressa e disposta junto a bancada. Conforme a Figura 24.

Figura 24 – Fotografia do manual e da bancada.



## CONCLUSÃO

Ultimamente, com a criação de novas ligas e utilização de diversos tipos de metais, aumentou a importância da realização de ensaios de materiais. Mais testes e mais informações sobre os materiais são necessitados constantemente. Dessa forma, o presente trabalho expôs o fenômeno de fadiga dos materiais através de uma revisão bibliográfica, assim como, discursou sobre sensores e instrumentação de ensaios mecânicos.

Os objetivos específicos foram plenamente atendidos, considerando os resultados da implementação na bancada e dos testes realizados, assim como o manual do sistema de aquisição de dados, claro e objetivo, criado para auxiliar o acadêmico a utilizar o sistema de aquisição de dados da bancada.

Conclui-se também que, a implementação do sensor na bancada a coleta dos parâmetros dos ensaios ocorre de forma precisa e confiável. A apresentação desses dados tornou-se simples, através de display LCD e Excel, que pode relacionar entre si as células com os valores. O manual de utilização do sistema de aquisição de dados do Excel, também se apresentou como ferramenta importante para usuários que desconhecem o sistema.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para futuros estudos sugere-se que os recursos do Excel sejam mais explorados, tais como, gráficos e tabelas dinâmicas de modo que auxiliem na visualização dos resultados dos ensaios, assim como, auxiliem no aprendizado.

Também seria importante considerar um mecanismo que torne possível a variação da carga aplicada no corpo de prova, para diferentes testes, algo como um atuador pneumático ou hidráulico, ou até mesmo uma alavanca com uma massa móvel sobre ela.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZI, Massimo. **Getting Started With Arduino**. 2 ed. Sebastopol: Make:Books, 2011.

CATARINO, Pedro Miguel Marques. **Estudos sobre o comportamento mecânico e estrutural das anteparas nºs 3 e 17 dos salva-vidas da classe vigilante**. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/2720>> Acesso em: 10 ago. 2016.

EVANS, Martin; NOBLE, Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. **Arduino em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2000.

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo, SP: Novatec, 2011.

OTSUKA, Tatiana S. **Tutorial sobre modelagem em VBA**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/17973209-Tutorial-sobre-modelagem-em-vba.html>> Acesso em: 15 ago. 2016.

PATSKO, Luíz F. **Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Disponível em: <[http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000\\_kdr5000/tutorial\\_eletronica\\_-\\_aplicacoes\\_e\\_funcionamento\\_de\\_sensores.pdf](http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf)> Acesso em: 03 jun. 2016.

ROSA, Edison da. **Análise de Resistência Mecânica (Mecânica da Fratura e Fadiga)**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SEIDEL, Álysson R. **Instrumentação Aplicada**. Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos\\_automacao/setima\\_etapa/instrumentacao\\_aplicada\\_2012.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_automacao/setima_etapa/instrumentacao_aplicada_2012.pdf)> Acesso em: 11 ago. 2016.

SENAC – RS. **Programação VBA para Excel**. Disponível em: <[http://gust4vo.com/cursos/wp-content/uploads/2013/06/Apostila\\_VBA\\_Excel.pdf](http://gust4vo.com/cursos/wp-content/uploads/2013/06/Apostila_VBA_Excel.pdf)> Acesso em: 15 ago. 2016.

STELLA, Adriana; MARTINO, Taigor. **Informática para Concursos**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3306370-Microsoft-excel-2003-informatica-para-concursos-adriana-stella-taigor-martino.html>> Acesso em: 04 jun. 2016.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2007.

VALGOLIO, Roberto. **Arduino\_Excel.** Disponível em: <<http://www.robertovalgolio.com/sistemi-programmi/arduino-excel>> Acesso em: 15 ago. 2016.

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

WEBER, Albano L. **Metrologia e Instrumentação.** Disponível em: <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM117/Arquivos%20H%E9lio/Strain\\_gauge%20extensometria.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM117/Arquivos%20H%E9lio/Strain_gauge%20extensometria.pdf)> Acesso em: 11 ago. 2016.

WENDLING, Marcelo. **Sensores.** Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4--sensores-v2.0.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2016.

ZOLIN, Ivan. **Ensaaios Mecânicos e Análises de Falhas.** Disponível em: <[http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_ctrl\\_proc\\_indust/tec\\_autom\\_ind/ensaaios\\_mec/161012\\_ens\\_mec\\_an\\_fal.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ensaaios_mec/161012_ens_mec_an_fal.pdf)> Acesso em: 19 ago. 2016.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

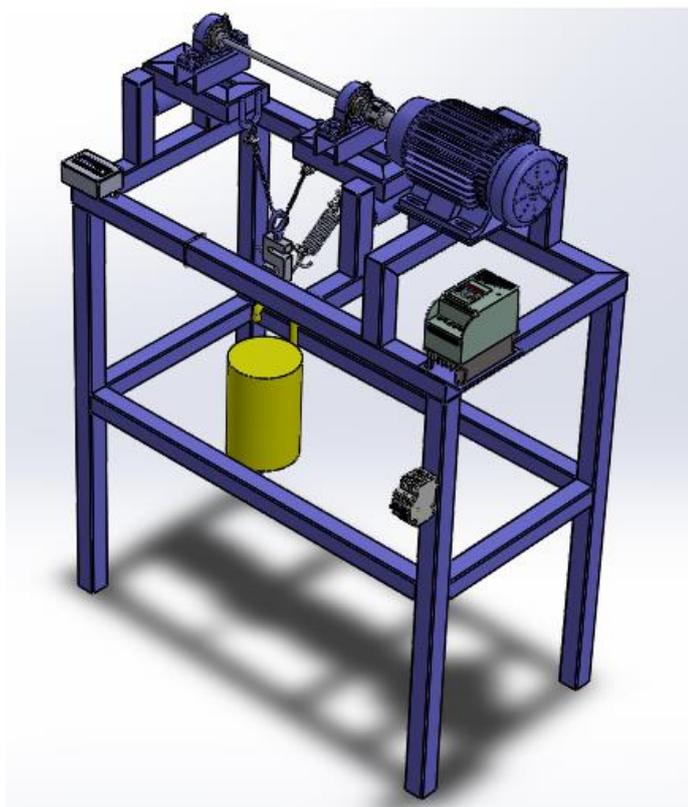
## Código do Arduino

```
#include <rExcel.h>
#include <hx711.h>
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
Hx711 scale(A1, A0);
volatile byte contador = 0;
long carga;
long ciclos = 0;
long ensaio = 1;
long cicloslcd = 0;
long linha = 3;
char value[16];
rExcel myExcel;
boolean condicao = false;
unsigned long tempo_anterior = 0;
const long intervalo = 5000;
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(115200);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Leia o Manual");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Antes de Usar");
  myExcel.clearInput();
  myExcel.clear("Relatorio", "A3:E100");
  attachInterrupt(0, rotacao, RISING);
  delay(5000);
  lcd.clear();
}
void loop() {
  unsigned long tempo_atual = millis();
  if (contador >= 1) {
    ciclos++;
```

```
    contador = 0;
    tempo_anterior = millis();
    condicao = false;
    cicloslcd = ciclos;
    lcd.clear();
}
else {
    condicao = true;
    if (tempo_atual - tempo_anterior >= intervalo) {
        tempo_anterior = tempo_atual;
        if (condicao == true && ciclos > 5) {
            linha++;
            ensaio++;
            ciclos = 0;
        }
    }
}
carga = (((scale.getGram() * 9.81) / 1000), 1);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Ciclos:");
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print(cicloslcd);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Carga:");
lcd.setCursor(7, 1);
myExcel.writeIndexed("Relatorio", linha, 1, ensaio);
myExcel.writeIndexed("Relatorio", linha, 2, ciclos);
myExcel.writeIndexed("Relatorio", linha, 3, carga);
}
void rotacao() {
    contador++;
}
```



## MANUAL DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA BANCADA DE FADIGA POR FLEXO-TORÇÃO



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INSTRUÇÕES GERAIS DE SEGURANÇA</b> .....	<b>1</b>
<b>3. AQUISIÇÃO DE DADOS NA BANCADA</b> .....	<b>1</b>
3.1. Alimentação.....	126
<b>4. AQUISIÇÃO DE DADOS NO EXCEL</b> .....	<b>1</b>
4.1. Instalação dos softwares.....	1
4.1.1. Instalando o CH341SER USB driver.....	2
4.1.2. Instalando o Arduino_Excel.....	5
4.2. Habilitação de MACROS no Excel 2013.....	7
4.3. Reconhecendo a porta USB (COM) da bancada.....	11
4.4. Conectando a bancada no Excel.....	12

## 1. INTRODUÇÃO

Este manual tem por objetivo, demonstrar e explicar de forma clara e objetiva os primeiros passos para a utilização do sistema de aquisição de dados da bancada de fadiga. Assim como, a instalação dos softwares necessários para seu funcionamento.

## 2. INSTRUÇÕES GERAIS DE SEGURANÇA

Assim como qualquer equipamento, a bancada deve ser SEMPRE manuseada com cuidado e o operador deve estar SEMPRE usando equipamento de segurança.

## 3. AQUISIÇÃO DE DADOS NA BANCADA

A bancada dispõe de um display LCD, no qual são exibidos o número de ciclos que o corpo de prova é submetido e a carga aplicada sobre ele durante o ensaio.

### 3.1. Alimentação

Para a aquisição de dados no Excel, o próprio cabo USB que faz a conexão proverá energia para a bancada. Porém, se isso não for necessário a bancada possui uma fonte 12 Volts integrada.



**ATENÇÃO !**

Se for utilizar a aquisição de dados no Excel, **RETIRE A FONTE DA TOMADA**, caso contrário, danos tanto na bancada quanto ao computador podem ocorrer.

## 4. AQUISIÇÃO DE DADOS NO EXCEL

Primeiramente se faz necessário a instalação de alguns softwares.

### 4.1. Instalação dos softwares



**ATENÇÃO !**

Estes procedimentos podem não funcionar nas versões do Windows de 32 bits.

É necessário que o usuário já tenha instalado em seu computador o Microsoft Excel e um software do tipo compactador/descompactador de arquivos, como: WinRAR, 7-Zip, WinZip, etc.

Para que haja comunicação entre o computador e a bancada são necessários os seguintes softwares:

- CH341SER USB driver
- Arduino\_Excel

Estes softwares estão disponíveis para download em: <https://drive.google.com/file/d/0B1pIHRQuX1FvWGZDN3ZjUkVadIE/view?usp=sharing>



**ATENÇÃO !**

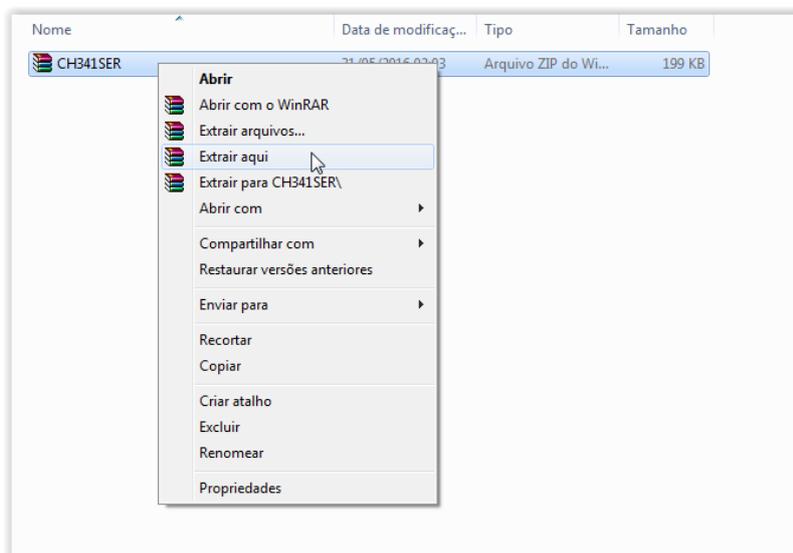
Todos os arquivos executáveis devem ser executados como administrador!

#### 4.1.1. Instalando o CH341SER USB driver

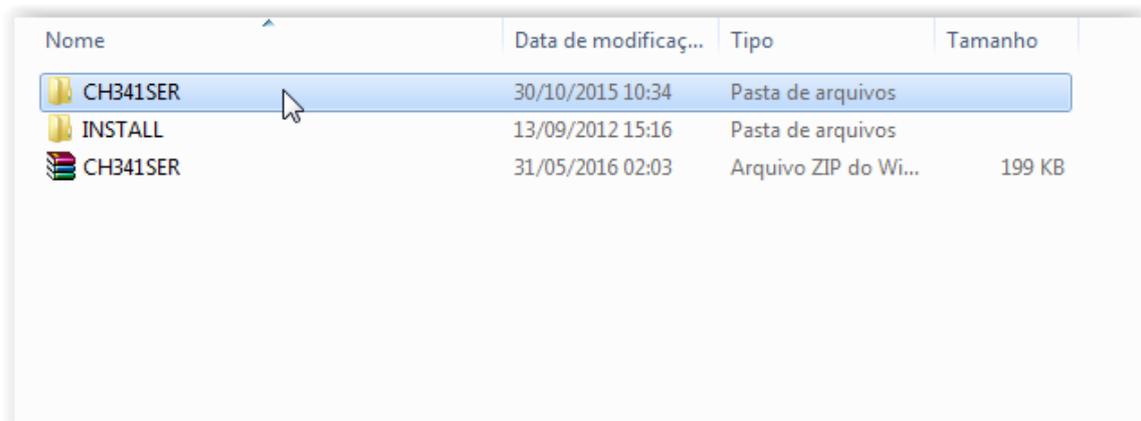
Este software é responsável por fazer a intermediação entre a bancada e o computador.

1º passo:

Extraia os arquivos do arquivo compactado.



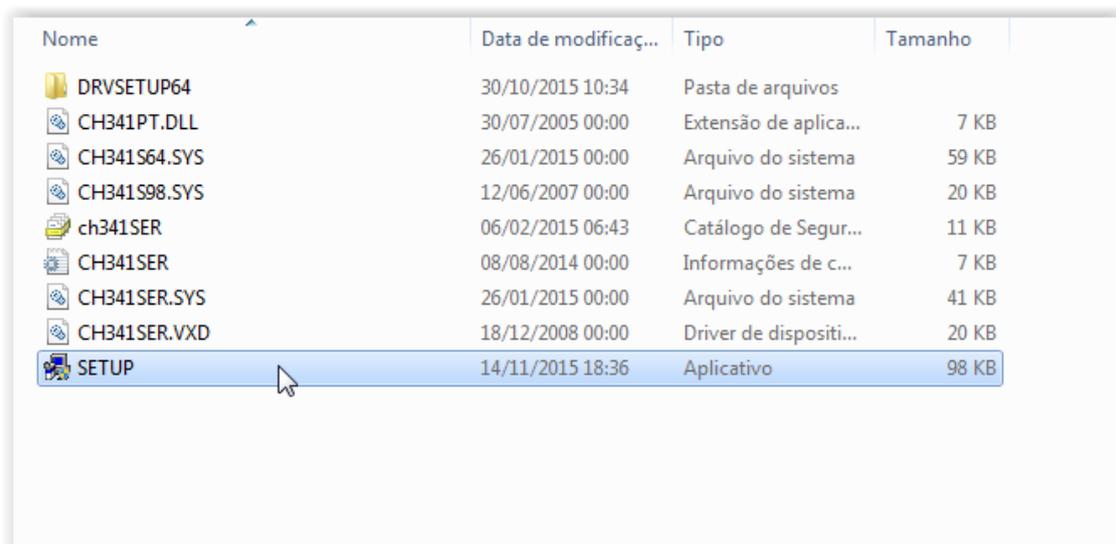
2º passo: Abra a pasta CH341SER.



Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
CH341SER	30/10/2015 10:34	Pasta de arquivos	
INSTALL	13/09/2012 15:16	Pasta de arquivos	
CH341SER	31/05/2016 02:03	Arquivo ZIP do Wi...	199 KB

3º passo:

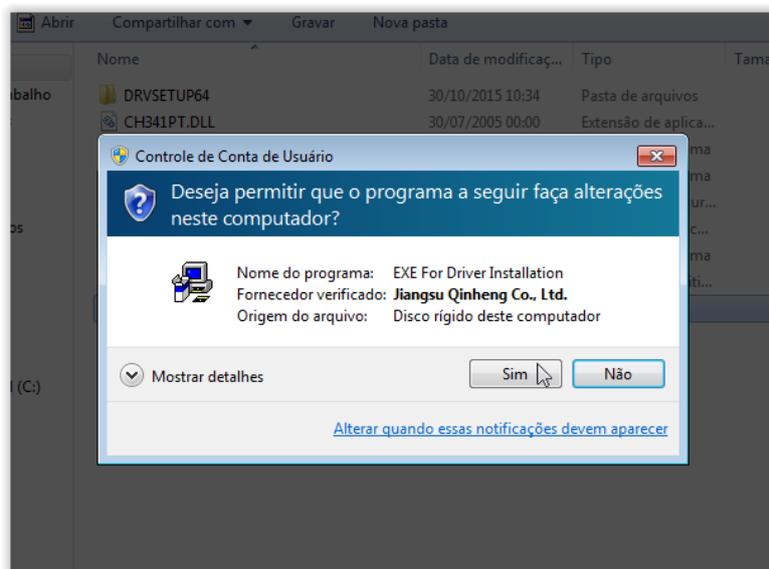
Execute o arquivo SETUP.



Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
DRVSETUP64	30/10/2015 10:34	Pasta de arquivos	
CH341PT.DLL	30/07/2005 00:00	Extensão de aplica...	7 KB
CH341S64.SYS	26/01/2015 00:00	Arquivo do sistema	59 KB
CH341S98.SYS	12/06/2007 00:00	Arquivo do sistema	20 KB
ch341SER	06/02/2015 06:43	Catálogo de Segur...	11 KB
CH341SER	08/08/2014 00:00	Informações de c...	7 KB
CH341SER.SYS	26/01/2015 00:00	Arquivo do sistema	41 KB
CH341SER.VXD	18/12/2008 00:00	Driver de dispositi...	20 KB
SETUP	14/11/2015 18:36	Aplicativo	98 KB

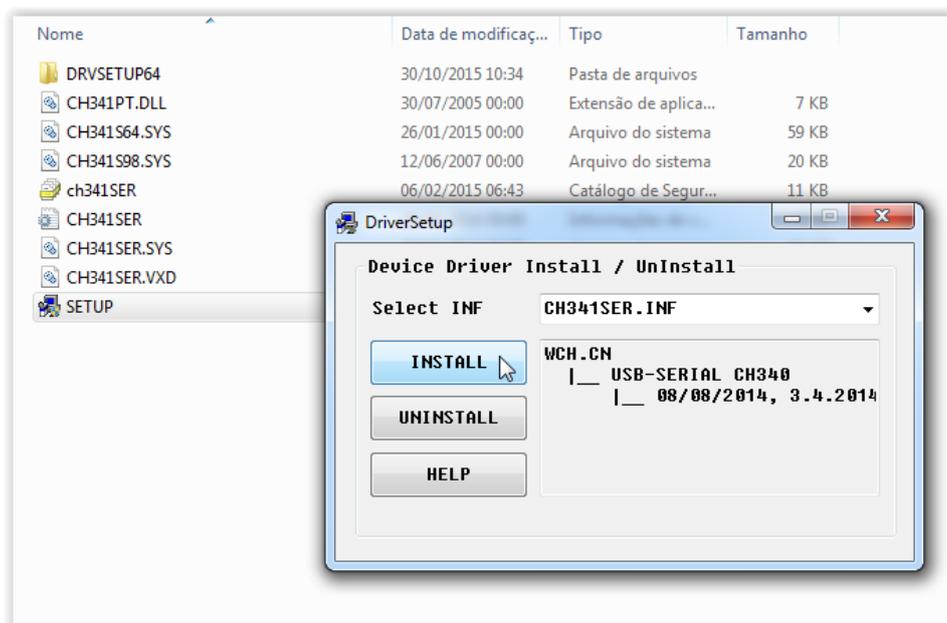
4º passo:

Confirme a mensagem de controle de conta de usuário.



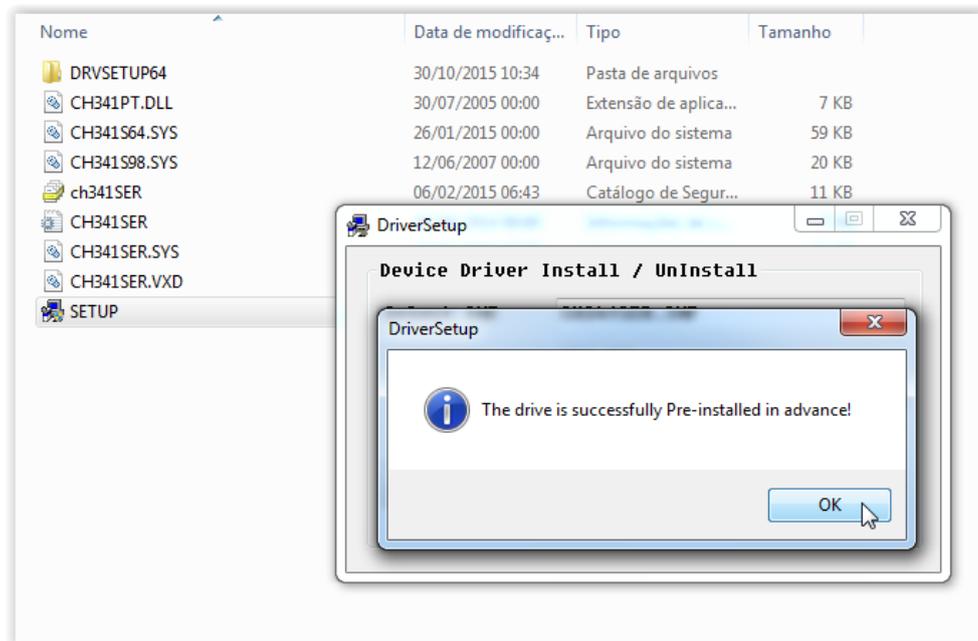
5º passo:

Clique em "INSTALL".



6º passo:

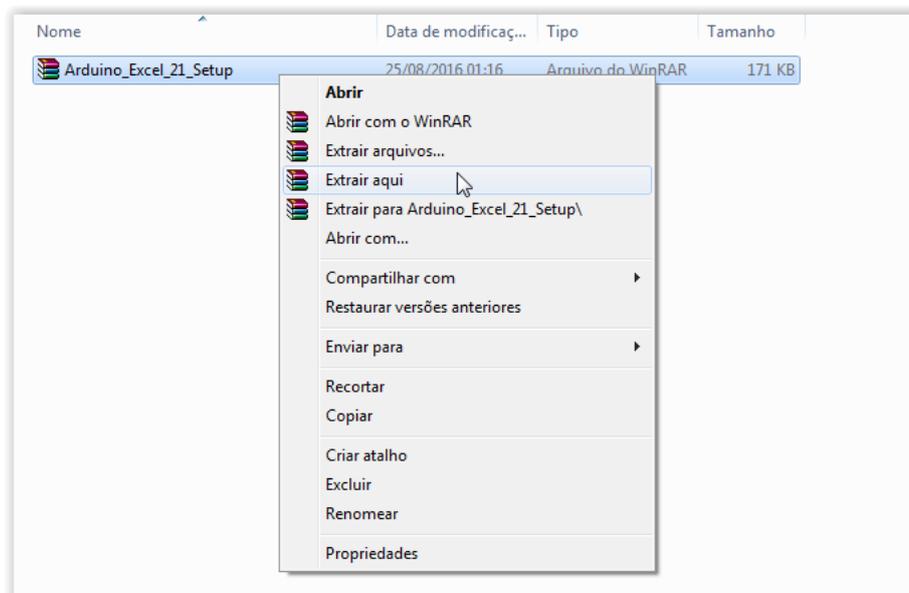
Clique em “OK”.



#### 4.1.2. Instalando o Arduino\_Excel

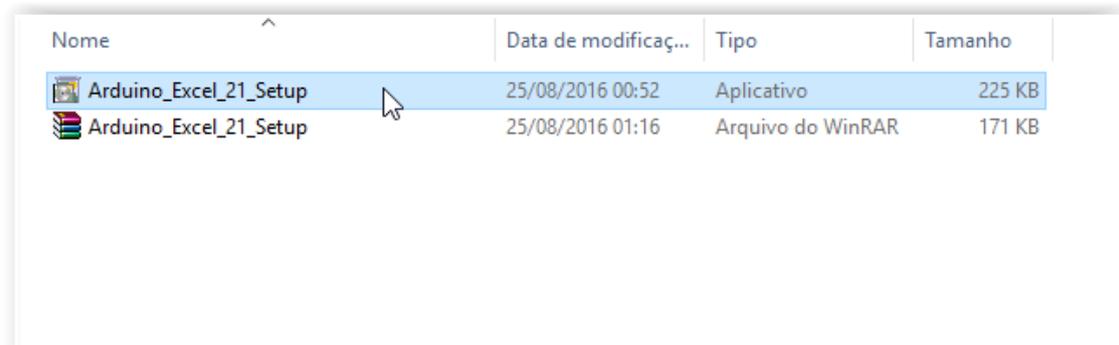
1º passo:

Extraia os arquivos do arquivo compactado.



2º passo:

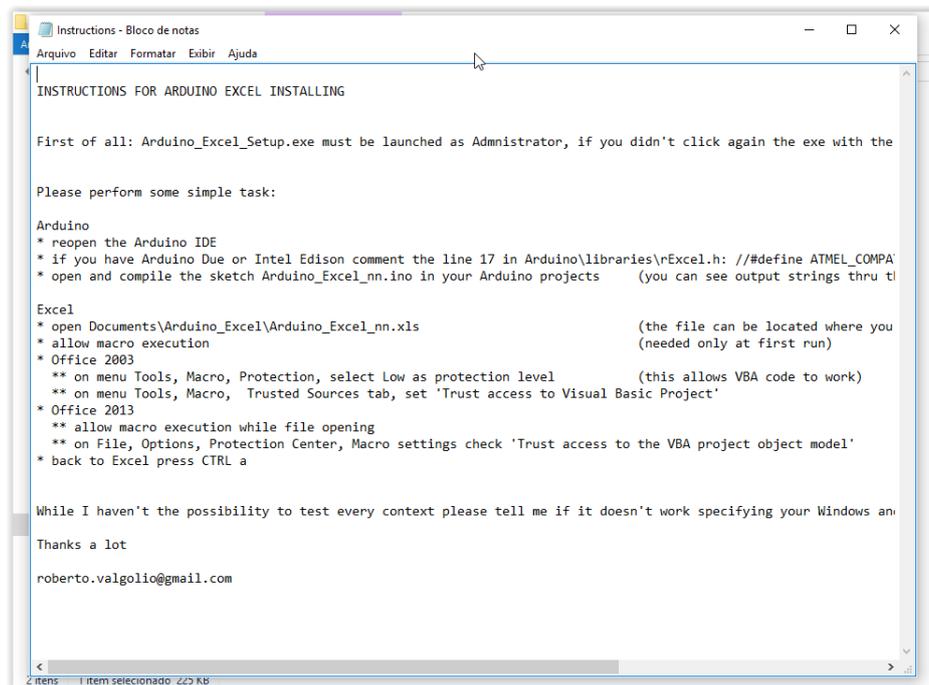
Execute o arquivo Arduino\_Excel\_21\_Setup.



Nome	Data de modificaç...	Tipo	Tamanho
Arduino_Excel_21_Setup	25/08/2016 00:52	Aplicativo	225 KB
Arduino_Excel_21_Setup	25/08/2016 01:16	Arquivo do WinRAR	171 KB

3º passo:

Leia as instruções do desenvolvedor.



```
Instructions - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda

INSTRUCTIONS FOR ARDUINO EXCEL INSTALLING

First of all: Arduino_Excel_Setup.exe must be launched as Administrator, if you didn't click again the exe with the

Please perform some simple task:

Arduino
* reopen the Arduino IDE
* if you have Arduino Due or Intel Edison comment the line 17 in Arduino\libraries\rExcel.h: //#define ATMEL_COMPA
* open and compile the sketch Arduino_Excel_nn.ino in your Arduino projects (you can see output strings thru t

Excel
* open Documents\Arduino_Excel\Arduino_Excel_nn.xls (the file can be located where you
* allow macro execution (needed only at first run)
* Office 2003
** on menu Tools, Macro, Protection, select Low as protection level (this allows VBA code to work)
** on menu Tools, Macro, Trusted Sources tab, set 'Trust access to Visual Basic Project'
* Office 2013
** allow macro execution while file opening
** on File, Options, Protection Center, Macro settings check 'Trust access to the VBA project object model'
* back to Excel press CTRL a

While I haven't the possibility to test every context please tell me if it doesn't work specifying your Windows an

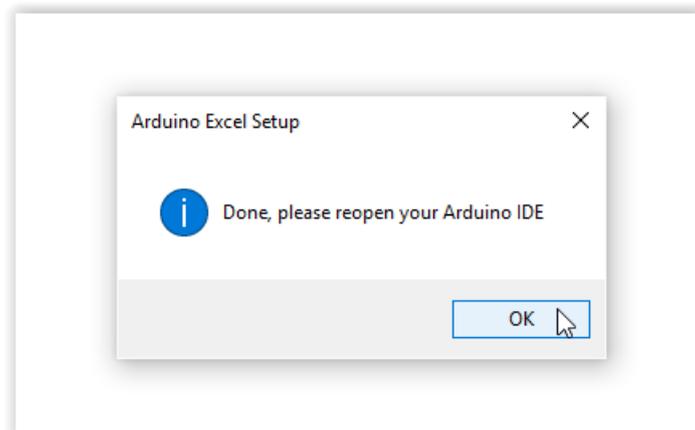
Thanks a lot

roberto.valgolio@gmail.com

2 itens 1 item selecionado 225 KB
```

4º passo:

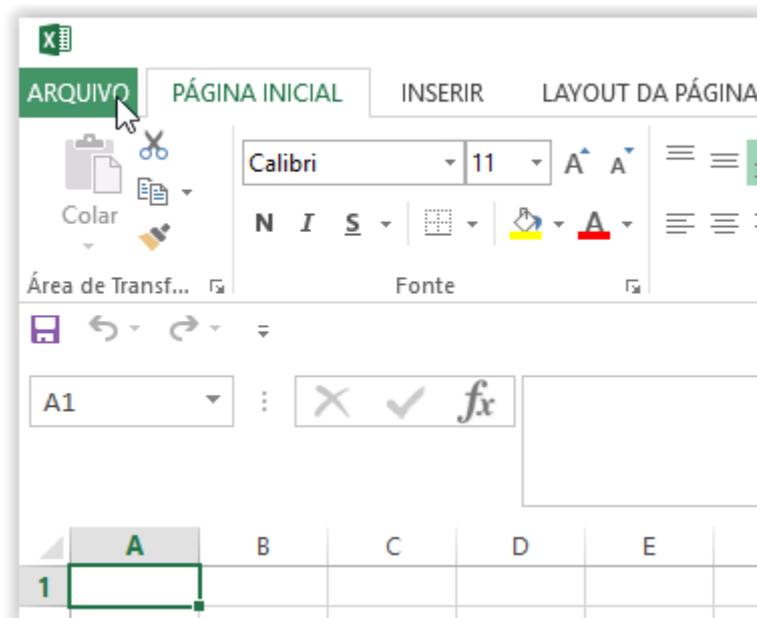
Clique em “OK”.



## 4.2. Habilitação de MACROS no Excel 2013

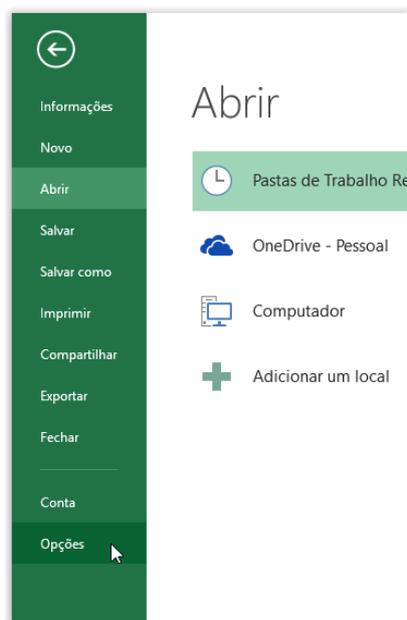
1º passo:

Clique em “Arquivo”.



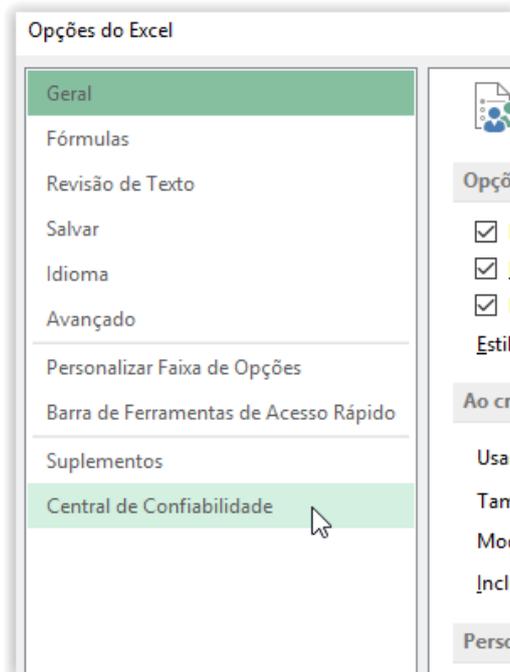
2º passo:

Clique em “Opções”.



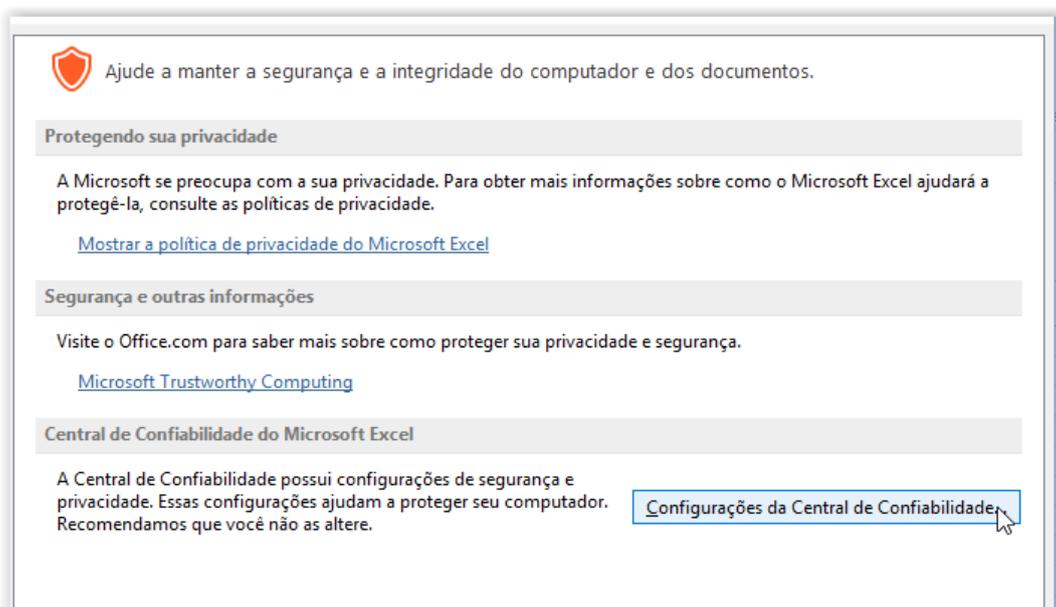
3º passo:

Clique em “Central de Confiabilidade”.



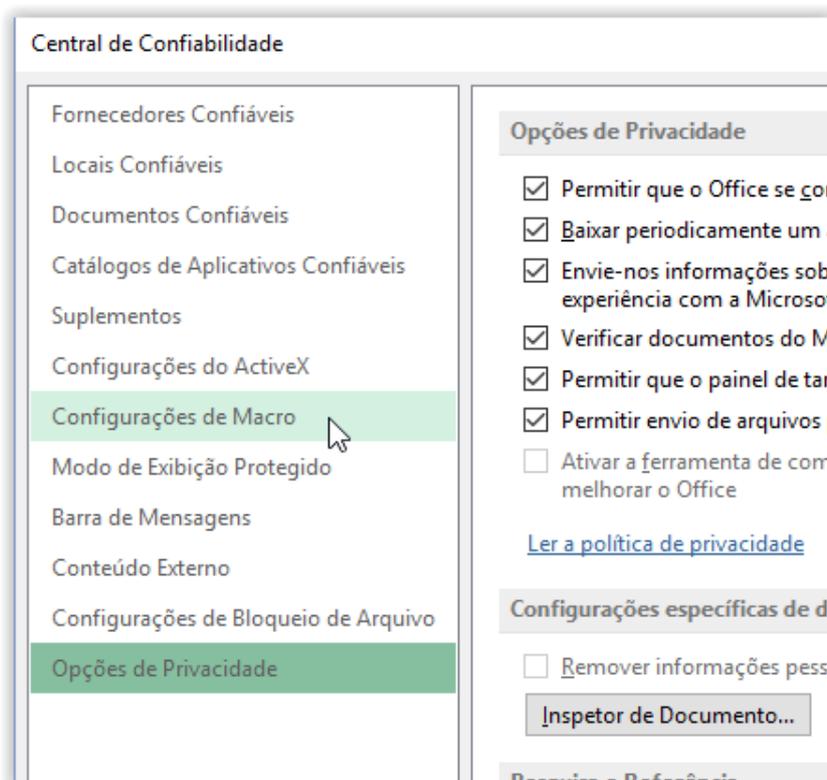
4º passo:

Clique em “Configurações da Central de Confiabilidade”.



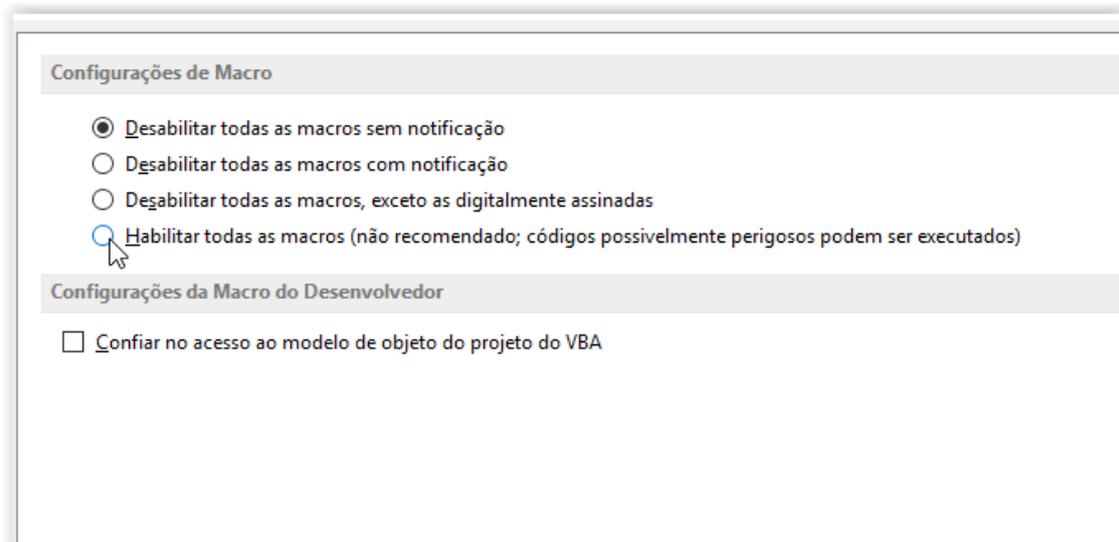
5º passo:

Clique em “Configurações de Macro”.



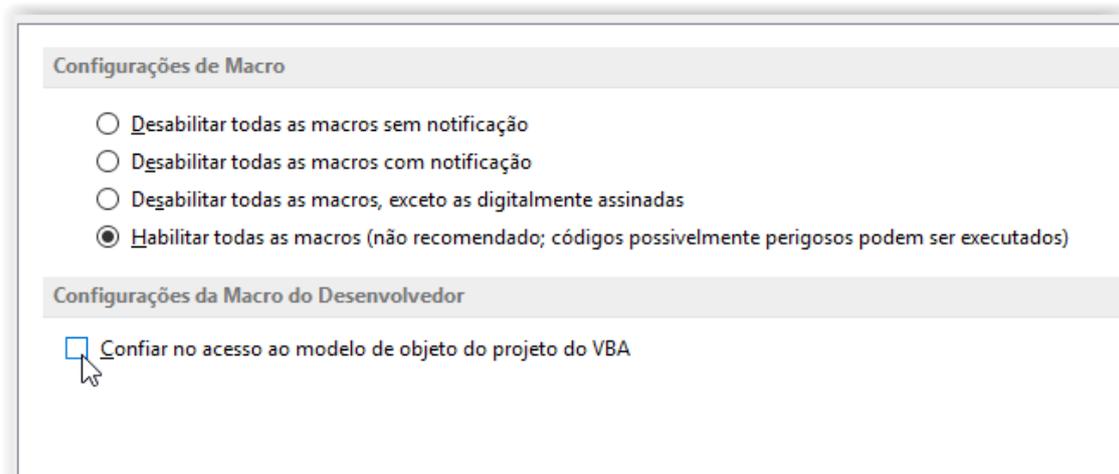
6º passo:

Selecione “Habilitar todas as Macros”.



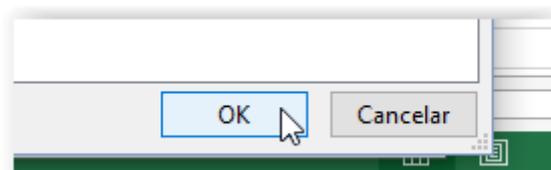
7º passo:

Selecione “Confiar no acesso ao modelo de objeto do projeto do VBA”.



8º passo:

Clique em “OK”.



### 4.3. Reconhecendo a porta USB(COM) da bancada

É necessário saber em qual porta USB a bancada está conectada para poder estabelecer a conexão com a macro do Excel.

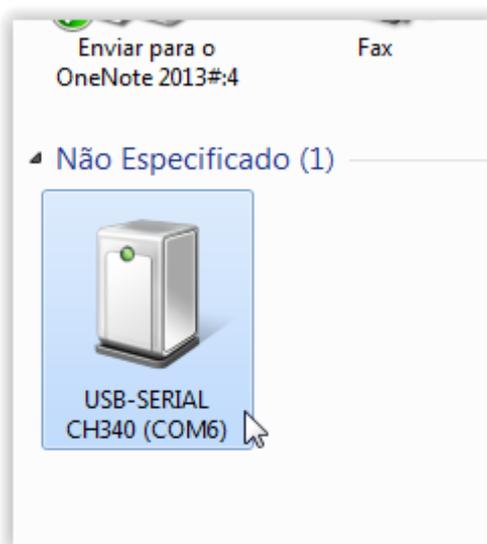
1º passo:

Em “Iniciar” clique em “Dispositivos e Impressoras”.



2º passo:

Encontre o Arduino e identifique a COM.

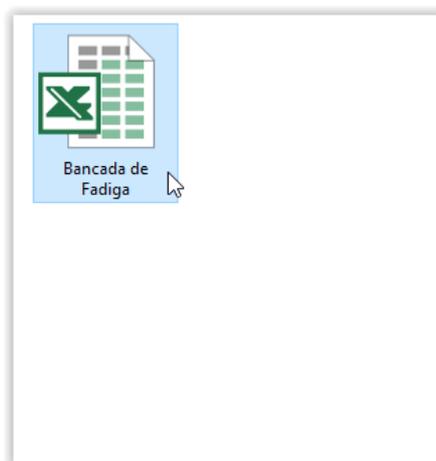


#### 4.4. Conectando a bancada no Excel.

Esta etapa irá detalhar passo a passo como adquirir os dados provenientes da bancada em uma planilha do Excel.

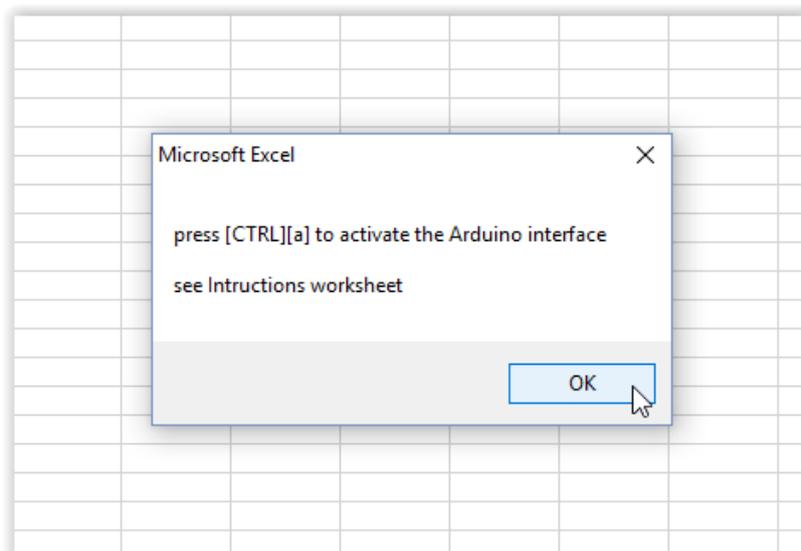
1º passo:

Abra a planilha “Bancada de Fadiga”.



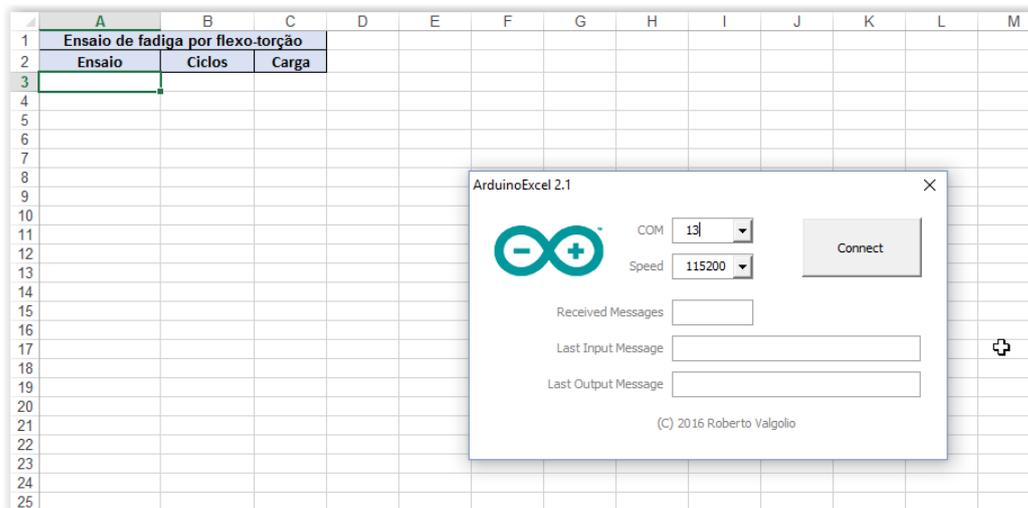
2º passo:

Uma mensagem do desenvolvedor irá aparecer. Leia e clique em “OK”.



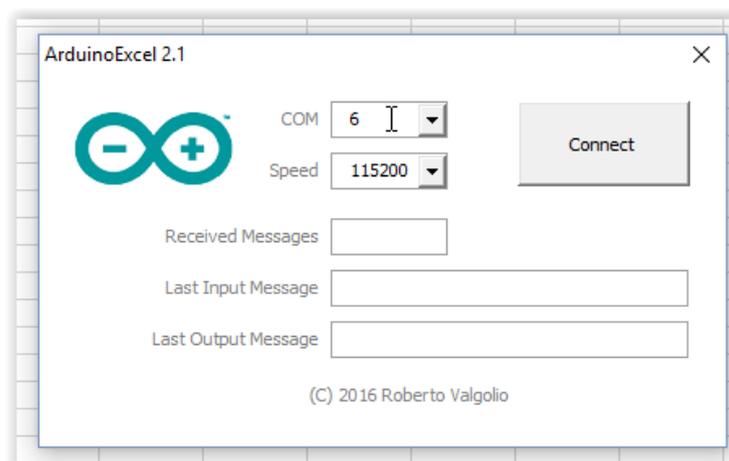
3º passo:

Pressione [CTRL]+[A]. Ou seja, pressione a tecla “control” e a tecla “a” ao mesmo tempo, até a caixa de conexão apareça.



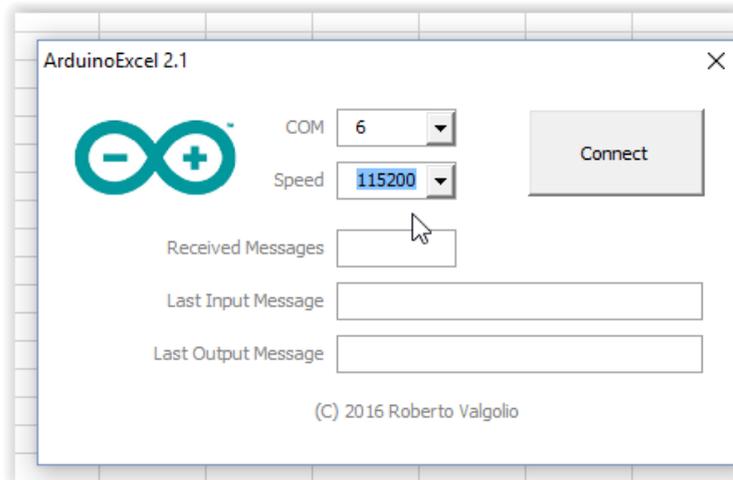
4º passo:

No primeiro campo denominado COM, coloque a COM em que a bancada está conectada.



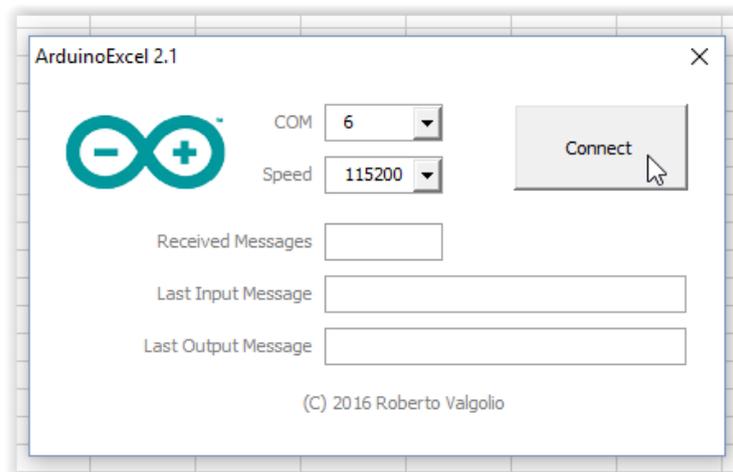
5º passo:

Tenha certeza que o segundo campo “Speed” seja 115200. Caso contrário a bancada não irá conectar.



6º passo:

Clique em “connect”.



Quando a bancada conectar o botão “connect” ficará verde e mudará seu nome para “Disconnect”.

Assim que o ensaio começar os dados irão aparecendo automaticamente na planilha.

**ATENÇÃO !**

Após conectar com o Excel, espere alguns segundos até o valor da carga zerar, e posteriormente, acople a massa na célula de carga.

**ATENÇÃO !**

Na planilha existe uma guia contendo as instruções de uso criadas pelo desenvolvedor, é altamente recomendado que esta seja lida.

**ATENÇÃO !**

Mesmo que a planilha seja salva, seus dados são sempre resetados quando a bancada é conectada. Portanto, para garantir que seus dados serão preservados, é aconselhado copia-los para outra planilha, ou salvar uma cópia dela.

## APÊNDICE C

Custos dos componentes utilizados na instrumentação da bancada.

ORÇAMENTO			
DESCRIÇÃO	QTD	VALOR UNI	VALOR FRETE
Célula de Carga CSA/ZL-50	1	R\$ 270,00	R\$ 51,00
Arduino Nano V.3	1	R\$ 39,90	R\$ 17,09
Protoboard Mini 170 furos	1	R\$ 13,90	
Display LCD 16x2	1	R\$ 19,90	
Módulo Amplificador HX711	1	R\$ 14,90	
Módulo Sensor Hall	1	R\$ 18,90	
Jumper Macho-Fêmea 20cm	1	R\$ 17,90	
<b>TOTAL:</b>		<b>R\$ 463,49</b>	