



Monografia de Graduação

Instrumentação de um esclerômetro pendular de passe único para avaliação de lubrificadorrefrigerantes

Uellen Nicolete Silva

Natal, julho de 2022

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, pois graças aos seus esforços hoje posso concluir mais uma etapa da minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus que possibilitou que todos os meus objetivos fossem alcançados durante toda a minha jornada desde muito tempo.

A toda minha família, em especial meu pai, minha mãe, minhas irmãs e meu irmão pelo apoio incondicional em todos os momentos até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Anderson Clayton Alves de Melo, por seus ensinamentos, pela confiança depositada em mim, seus conselhos e sua amizade.

Às minhas nobres amigas Lidiane Rodrigues Carvalho e Stephanie Gomes de Moraes pelo imenso apoio e carinho, por todos os momentos compartilhados e tudo que passamos juntos.

A todos os meus companheiros do Programa de Formação de Recursos Humanos (PRH) da Agência Nacional de Petróleo (ANP), em especial Gladson Pinheiro, Lidiane Rodrigues e Stephanie, aos professores Osvaldo Chiavone Filho e Adilson José de Oliveira por toda aprendizagem e troca de conhecimento, por estarem sempre dispostos a ajudar e por todo profissionalismo e incentivo para entrega de bons resultados, à ANP e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro ao projeto que culminou neste trabalho.

Aos meus amigos de projeto Gabriel Cirilo do Nascimento e Maria Eduarda Luz, que contribuíram de forma direta e indiretamente para meu crescimento nessa caminhada.

Ao Laboratório de Manufatura da UFRN, pela parceria que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Silva, U. N. **Contribuição para o desenvolvimento de um esclerômetro pendular instrumentado para avaliação de lubrificantes.** 2022. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2022.

Resumo

Esclerometria pendular é uma técnica de riscamento desenvolvida para medir grandezas como a energia específica consumida no ensaio, a dureza dinâmica do material riscado e as forças desenvolvidas durante o teste. Tais grandezas podem ser relacionadas com propriedades do material riscado, como sua resistência à abrasão e dureza por indentação. A técnica pode ainda ser usada para simular o arranque de material durante o processo de usinagem e avaliar os diversos meios lubrificantes no qual a usinagem ocorre. Este trabalho teve como objetivo dar uma contribuição ao desenvolvimento de um esclerômetro pendular de passe único instrumentado, com o intuito de estudar o comportamento tribológico de materiais sob diversas condições de lubrificação. O objetivo final do projeto é que o equipamento seja capaz de fornecer a energia específica, a dureza dinâmica, as componentes normal e tangencial da força envolvida no riscamento e o coeficiente de atrito. Para isso, alterações em uma estrutura anterior estão sendo feitas, com o objetivo de adequá-la ao propósito. Para a instrumentação do equipamento está sendo desenvolvido um sistema de aquisição de dados usando a plataforma MyDAQ, apoiada pelo software *LabView*, ambos da *National Instruments*. As modificações realizadas foram suficientes para garantir a boa montagem e bom funcionamento do equipamento e o sistema de aquisição de dados foi capaz de realizar a aquisição, amplificação e conversão dos sinais, além de exibí-los e determinar as variáveis de interesse.

Palavras-chave: Esclerômetro pendular de passe único, Instrumentação de força Energia específica de riscamento, Dureza dinâmica, Coeficiente de atrito.

Silva, U. N. **Contribution for the development of a single-pass pendulum sclerometer device for lubricoolants evaluation.** 2022. 73 p. Conclusion work project (Graduate in Mechanical Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2022.

Abstract

Pendular sclerometry is a scratching technique developed to measure variables such as specific energy, dynamic hardness and forces developed during the test. Such variables can be related to some properties of the scratched material, such as abrasion resistance and hardness. The technique can also be used to simulate the chip formation in machining processes and to evaluate the performance of lubricoolants. This work aimed to contribute for the development of an instrumented single-pass pendulum sclerometer to study the tribological behavior of materials under different lubrication and cooling conditions. The main objective of the project is to develop an equipment able to provide the specific energy, dynamic hardness, normal and tangential components of the force involved in the scratching test and the coefficient of friction. For this purpose, changes are being made based on a previous structure which is being instrumented using the MyDAQ platform supported by the LabView software, both from the *National Instruments*. The modifications performed were sufficient to ensure the proper assembly and proper functioning of the equipment and the data acquisition system was able to perform the acquisition, amplification and conversion of the signals, in addition to displaying them and determining the variables of interest.

Keywords: Single-pass Pendulum Sclerometry, Instrumentation, Scratching Force, Specific Energy, Dynamic Hardness, Coefficient of Friction.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Classificação dos fluidos de corte conforme a Norma DIN 51385.....	2
Figura 2 – Esquema do teste “pino sobre disco” conforme Norma ASTM G99 -05.....	5
Figura 3 – Esclerômetro pendular.	6
Figura 4 – Componente tangencial da força de riscamento em função da distância.	11
Figura 5 – Energia específica consumida versus distância.	11
Figura 6 – Energia Teórica vs Energia Experimental.	12
Figura 7 – Deformação em uma barra retangular causada por uma carga axial.....	14
Figura 8 – Extensômetro de fita metálica.	15
Figura 9 – Configuração para medição de forças.....	16
Figura 10 – Configurações da ponte de Wheatstone.	17
Figura 11 – Equipamento no início das modificações.	20
Figura 12 – Máquinas-ferramentas usadas nas operações para adequação.....	21
Figura 13 – Diagrama de blocos do <i>hardware</i> MyDAQ NI.....	22
Figura 14 – Diagrama esquemática da MyDAQ NI	24
Figura 15 – Células de carga empregadas no projeto.....	25
Figura 16 – Amplificador JY-S60 CALT.....	26
Figura 17 – Projeto do dinamômetro (primeira versão).	27
Figura 18 – Análise das tensões presentes no dinamômetro em fase de projeto.	28
Figura 19 – Análise das deformações presentes no dinamômetro.....	29
Figura 20 – Tensões concentradas nos transdutores do dinamômetro.....	29
Figura 21 – Disposição dos transdutores com a segunda proposta.....	31
Figura 22 – Projeto de adequação da estrutura.	32

Figura 23 – Estrutura do esclerômetro após as modificações no equipamento	33
Figura 24 – Esquematização do sistema de aquisição de dados.....	34
Figura 25 – Bancada de testes do circuito desenvolvido.	35
Figura 26 - Processamento dos dados.....	36
Figura 27 – Diagrama de blocos do processamento.	37
Figura 28 – Obtenção das variáveis desejadas.....	37
Figura 29 – Interface do programa de aquisição de dados.	38

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Especificações das células de carga.....	25
---	----

Sumário

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Lubrificantes	2
2.1.1	Funções e Importância	3
2.1.2	Avaliação de Desempenho de Lubrificantes.....	4
2.1.2.1	Resfriamento Estático	4
2.1.3	Lubricidade	5
2.1.4	Esclerometria Pendular.....	5
2.2	Esclerometria.....	6
2.2.1	Tipos de testes de esclerometria	7
2.2.2	Objetivos do Ensaio de Esclerometria	8
2.3	Esclerometria Pendular.....	8
2.3.1	Energia Específica e Dureza Dinâmica de Riscamento	9
2.3.2	Coeficiente de Atrito	12
2.4	Instrumentação	13
2.4.1	Instrumentação de Força	13
2.4.2	Medição de força com extensômetros	14
2.4.2.1	Ponte de Wheatstone	16
3	Metodologia.....	18
3.1	Projeto do sistema para a montagem dos transdutores de força.....	18
3.2	Projeto das modificações necessárias no equipamento original para transformá-lo em um esclerômetro pendular.....	20
3.3	Montagem do sistema de aquisição e apresentação dos dados coletados com o <i>datalogger MyDAQ NI</i>	21
4	Resultados e Discussões	27
4.1	Projeto do sistema para a montagem dos transdutores de força.....	27

4.2	Projeto das modificações necessárias no equipamento original para transformá-lo em um esclerômetro pendular.....	32
4.3	Montagem do sistema de aquisição e apresentação dos dados coletados com o <i>datalogger MyDAQ NI</i>	33
5	Conclusões.....	39
6	Referências	40
7	Anexo	47
8	Apêndice	50

1 Introdução

A usinagem é a técnica mais utilizada na indústria para fabricar componentes mecânicos de alta qualidade. Para tanto, uma ferramenta de corte remove material da peça de trabalho na forma de cavacos. Nesse processo, praticamente toda a energia mecânica é convertida em energia térmica, a qual acaba migrando para a peça e a ferramenta de corte (além do cavaco), causando problemas relacionados à qualidade geométrica do componente usinado e ao desgaste da ferramenta de corte. Para minimizar os efeitos da energia térmica nas diversas operações de usinagem, são usados fluidos de corte. Para entender os efeitos da aplicação de fluidos de corte (ou lubrificantes), são necessários ensaios de usinagem capazes de quantificar a capacidade de lubrificação e refrigeração destes fluidos. Contudo, ensaios de usinagem exigem a repetição exaustiva dos testes devido à grande dispersão dos resultados obtidos, o que acarreta em altos custos. Nesse sentido, a esclerometria pendular de passe único, cujo processo de riscamento muito se assemelha ao processo de remoção de cavacos que ocorre na usinagem, se apresenta como uma alternativa simples, rápida e econômica (LIANG *et al.* 1996; VINGSBO e HOGMARK, 1984).

Além de reduzir problemas relacionados ao alto custo e à demanda de tempo de testes realizados diretamente na máquina-ferramenta, a esclerometria pendular de passe único fornece resultados com menor dispersão (VINGSBO e HOGMARK, 1984). De acordo com Liang *et al.* (1996) e Tschiptschin, Garzón e Lopez. (2007), a técnica de esclerometria pendular de passe único pode ser empregada com bastante sucesso em aplicações onde se deseja quantificar o índice de usinabilidade de um determinado material, em diferentes condições de lubrificação. O emprego da técnica é amplo, sendo usado ainda para a avaliação de propriedades tribológicas dos materiais (VINGSBO e HOGMARK, 1984).

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi realizar adequações no projeto mecânico e instrumentar o equipamento com o objetivo de medir as forças normal e tangencial durante o ensaio de riscamento e determinar a energia específica, dureza dinâmica e coeficiente de atrito.

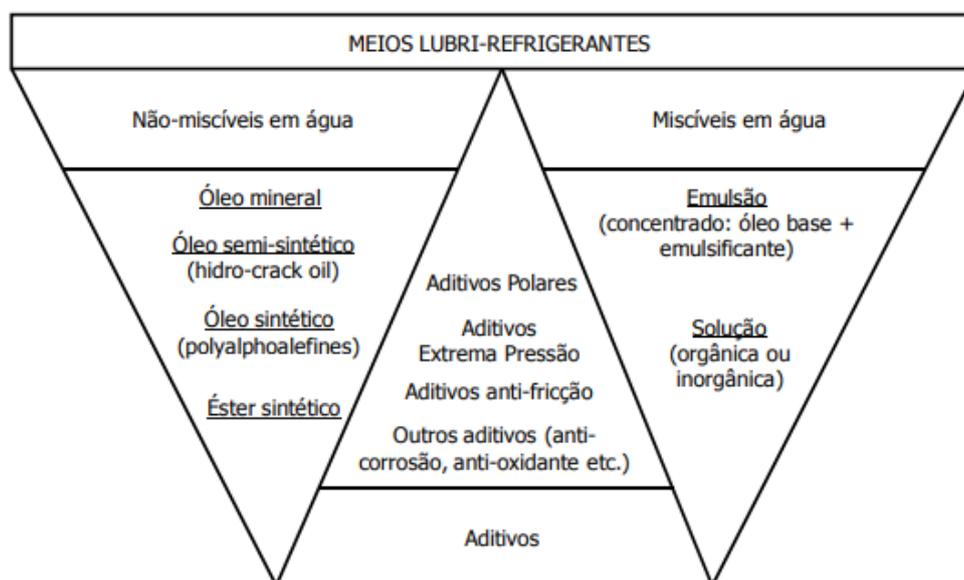
Este trabalho é parte de um projeto que se iniciou em 2020 no âmbito do Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 44.1 (PRH ANP 44.1) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Lubrificadores

Os lubrificantes, ou fluidos de corte, são substâncias usadas com a finalidade de reduzir o atrito e a temperatura no processo de usinagem. São divididos em três grupos: sólidos, líquidos e gasosos. Os lubrificantes sólidos e os fluidos gasosos apresentam pouca utilização prática (MACHADO *et al.*, 2009 e SECCO *et al.*, 2012). Já os líquidos, bem mais utilizados, são classificados como óleos integrais e emulsões/soluções à base de água (SECCO *et al.*, 2012). A figura 1 apresenta uma classificação contendo os tipos de fluidos de corte líquidos e de alguns aditivos aplicados para a melhoria de algumas de suas propriedades [DIN 51385 *apud* BRINKSMEIER; HEINZEL; WITTMANN (1999) e MACEDO (2008)].

Figura 1 – Classificação dos fluidos de corte conforme a Norma DIN 51385.



Fonte: Brinksmeier; Heinzel; Wittmann (1999) e Macedo (2008).

As soluções são misturas de água e produtos orgânicos e inorgânicos empregados com o objetivo de conferir propriedades lubrificantes (FALAVIGNA, 2014). Também chamadas de fluidos sintéticos, contam com aditivos de lubricidade, inibidores de corrosão, biocidas, entre outros, que atuam juntamente com os sais orgânicos e inorgânicos no aumento do desempenho do lubrificante quando em operação (SECCO *et al.*, 2012).

Frequentemente são adicionados aditivos aos fluidos sintéticos, com o objetivo de melhorar propriedades, como calor específico, condutividade térmica ou aumentar a capacidade de atuar em altas pressões (FERNANDES, 2007).

As emulsões e os fluidos semissintéticos, são compostos por estruturas tensoativas em suspensão em meio coloidal, associadas a um agente emulsificante que confere estabilidade ao composto (SECCO *et al.*, 2012). Diferem-se apenas na concentração de tensoativos presente na composição.

De acordo com Secco *et al.* (2012) e Fernandes (2007), os fluidos semissintéticos são formados pela união de fluidos sintéticos e emulsões. Essa combinação visa melhorar o desempenho do lubrificador quanto à estabilidade microbiológica e controle da oxidação. Sua composição é dada majoritariamente pelo fluido sintético, complementado por emulsões em até 30% do volume total.

Os óleos integrais têm como composto básico o óleo mineral, podendo ser usados no estado puro, isto é, na ausência de aditivos, ou de forma aditivada (FUSSE, 2005). Os óleos integrais são formados por grandes cadeias de hidrocarbonetos obtidos a partir do refino do petróleo e suas propriedades podem depender de fatores como estrutura molecular, grau de refino e comprimento da cadeia carbônica (MAIA, 2009).

Atualmente os óleos integrais apresentam base parafínica, em sua maioria. Apresentam excelentes propriedades lubrificantes, bom controle anti-ferrugem e longa vida útil, porém, apresentam menor poder refrigerante quando comparados com os fluidos de corte solúveis em água (FUSSE, 2005).

Aditivos químicos podem ter uma vasta variedade de funções (OST, 2016), sendo as mais importantes o auxílio na lubrificação, em especial em condições de extrema pressão, prevenção de corrosão, como elemento ligante, agente anti-espuma, dentre outros (CETIN *et al.*, 2011 e OST, 2016).

Na manufatura, grande parte dos fluidos de corte são óleos integrais de origem mineral aditivados. Esses fluidos aumentam a qualidade e a produtividade das operações de manufatura, refrigerando e lubrificando o processo durante o corte (OST, 2016).

2.1.1 Funções e Importância

É notório que a operação de usinagem influencia de forma significativa na qualidade superficial e subsuperficial, geométrica e dimensional da peça usinada e que a condição de

lubrirrefrigeração tem um papel importante nos resultados obtidos. A taxa de desgaste das ferramentas de corte também está relacionada à condição de lubrirrefrigeração (FELIPE, 2016). Isso ocorre porque uma parte considerável da energia consumida no processo de usinagem é transformada em energia térmica, aumentando a temperatura de corte. Assim, o uso de meios que promovam a redução da temperatura de corte tem sido um ponto bastante discutido em usinagem, uma vez que a qualidade de peças e os altos custos da fabricação estão diretamente relacionados com as altas temperaturas desenvolvidas no processo.

Nas diversas operações de usinagem, os lubrirrefrigerantes desempenham principalmente as funções de refrigeração, lubrificação e de remoção dos cavacos da zona de corte (PEREIRA, 2016). Assim, os lubrirrefrigerantes são utilizados com o objetivo de minimizar a temperatura de corte, melhorando a qualidade superficial do produto acabado, fornecendo a lubrificação necessária para diminuir as forças de corte e, conseqüentemente, a potência requerida para o processo.

Além de permitir a redução da taxa de desgaste da ferramenta, aumentando sua vida útil e minorando os custos de fabricação, o fluido de corte ainda oferece proteção contra corrosão da máquina-ferramenta (FUSSE, 2005).

2.1.2 Avaliação de Desempenho de Lubrirrefrigerantes

A avaliação de desempenho de um lubrirrefrigerante considera fatores como sua capacidade de resfriamento e lubricidade, levando em conta o desgaste e a preservação da integridade das partes envolvidas nos testes tribológicos. Algumas das técnicas de avaliação de lubrirrefrigerantes são apresentadas a seguir (SECCO *et al.*, 2013).

2.1.2.1 Resfriamento Estático

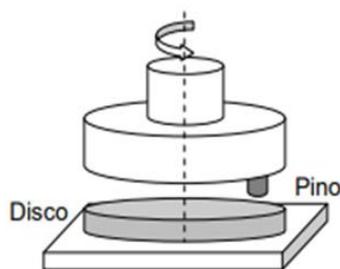
Os testes usando o método de resfriamento estático são normatizados pela ASTM D6200 (2017), que dispõe sobre equipamentos e procedimentos para avaliação de óleos refrigerantes com base na determinação da taxa de resfriamento. Consiste em aquecer um corpo de prova associado a um medidor de temperatura em um forno, após atingido a temperatura desejada, o conjunto é mergulhado de imediato num fluido de modo que fique a 50 mm de sua superfície e na ausência de movimento relativo entre este e o corpo de prova (SECCO *et al.*, 2013).

O teste de resfriamento estático fornece uma estimativa da capacidade que um fluido possui de refrigerar o material do corpo de prova e é uma técnica aplicada na avaliação de fluidos de corte utilizados na usinagem, como sugere Secco, Oliver e Rodrigues (2011).

2.1.3 Lubricidade

O teste de lubricidade é desenvolvido com base na norma ASTM G99-05 (2005). É feito com o objetivo de determinar o desgaste de materiais durante o processo de deslizamento de um pino sobre um disco. Nesse teste, dois corpos de prova são requeridos: um pino com uma das extremidades faceadas; e um disco. Estes são montados perpendicularmente um ao outro. O disco é acoplado a um motor que o faz girar em contato com o pino, que é fixado a um suporte (figura 2). Essa configuração permite que a superfície faceada do pino deslize sobre a superfície do disco imersa em um lubrificante. O pino é pressionado contra o disco por meio de uma carga fixa. Há a possibilidade de executar o carregamento necessário por meio de um sistema hidráulico ou pneumático. É possível quantificar o desgaste durante o teste medindo as dimensões do disco e do pino antes e depois do ensaio. Por exemplo, é possível ver o resultado do desgaste do pino medindo a variação em seu comprimento e/ou forma. Outra maneira de mensurar o desgaste é medindo o peso do pino (ou do disco) antes e depois do teste. Com esse método é possível determinar a capacidade de lubrificação, ou lubricidade, do fluido por meio da comparação da massa perdida devido ao desgaste. Durante esse teste, o coeficiente de atrito entre os corpos em contato também pode ser determinado.

Figura 2 – Esquema do teste “pino sobre disco” conforme Norma ASTM G99 -05.



Fonte: Adaptado de So (1996) e Verdi (2011).

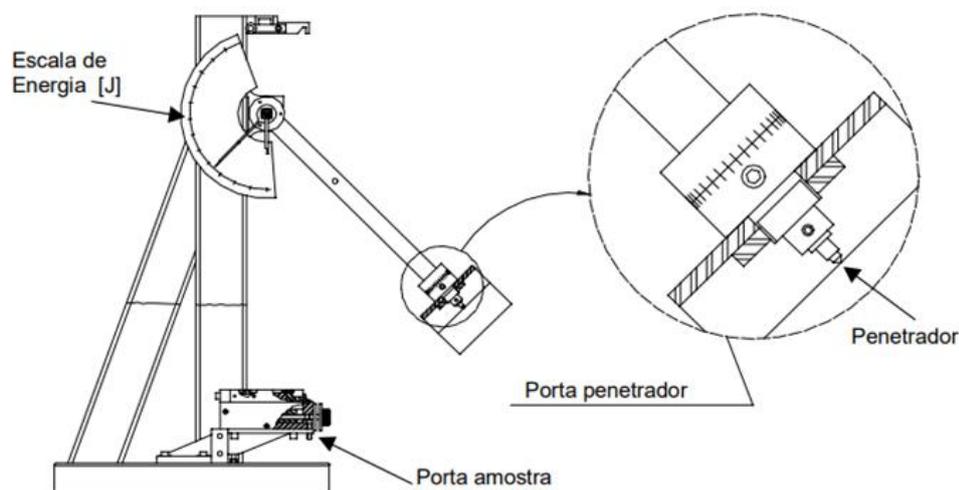
2.1.4 Esclerometria Pendular

Como sugeriu Tschiptschin, Garzó e Lopez (2007), a esclerometria pendular é uma técnica de avaliação da resistência à abrasão de materiais. Trata-se de uma alternativa rápida e barata aos ensaios de usinagem e que apresentam baixa dispersão nos resultados obtidos.

De acordo com Finzi *et al.* (2016), o princípio de funcionamento da esclerometria pendular consiste na liberação de um pêndulo, dotado de um penetrador, de uma determinada altura, com o

objetivo de produzir um risco em uma amostra fixada na parte inferior de sua trajetória, conforme mostra a figura 3.

Figura 3 – esclerômetro pendular.



Fonte: Franco (1989) apud Sales *et al.* (1999).

2.2 Esclerometria

O ensaio de esclerometria consiste em simular em laboratório o processo de desgaste abrasivo presente em situações reais de forma confiável (SOUZA, 2015). A esclerometria é capaz de reproduzir a interação entre o agente abrasivo e a superfície desgastada usando mecanismos simplificados.

Segundo Buttery (1970), alguns parâmetros importantes, como velocidade, dureza, carga aplicada, geometria do indentador, taxa de escoamento do material, temperatura, desgaste e possíveis danos ao indentador devem ser acompanhados na esclerometria.

O ensaio de esclerometria é considerado monoabrasivo, ou seja, não há presença de várias partículas abrasivas entrando em contato com a superfície do material a ser riscado (SCHIMITEL e SANTOS, 2017). Nesse ensaio, utiliza-se um indentador que risca a amostra a ser ensaiada com uma determinada energia (BRAGATTO JUNIOR, 2016; SCHIMITEL e SANTOS, 2017).

O riscamento realizado é feito de forma controlada, desenvolvido em uma superfície polida com um penetrador de geometria com baixa complexidade, como uma esfera, um cone ou uma

pirâmide. Como sugere Abrahão (1999) todos os parâmetros citados anteriormente são controlados com o objetivo de simular o efeito mecânico de uma partícula sobre a superfície e utilizar modelos simples que possam auxiliar na compreensão dos aspectos mais fundamentais do processo de desgaste abrasivo.

2.2.1 Tipos de testes de esclerometria

De acordo com Buttery (1970), os ensaios de esclerometria podem ser classificados como:

- I. **Rotativo ou Circular** - Normalmente utilizado em estudos de usinagem por abrasão como a retificação e o brunimento, esse tipo de técnica consiste em posicionar um penetrador ortogonalmente a um disco onde as amostras são fixadas. O ensaio é executado em alta rotação, produzindo riscos sucessivos na superfície da amostra.
- II. **Retilíneo** - Comumente aplicado na determinação ou monitoramento dos esforços em partículas abrasivas. Nessa técnica, a amostra desenvolve movimento retilíneo alternado em relação ao indentador, caracterizando-se como um ensaio de baixa velocidade, na maioria dos testes. Com esse ensaio é possível alterar os ângulos de ataque e laterais.
- III. **Pendular** - A técnica de esclerometria pendular é frequentemente empregada para a determinação da energia específica de riscamento em condições dinâmicas de abrasão e em condições em que a velocidade de remoção do material é alta. Para a utilização da técnica de esclerometria pendular, um indentador é fixado à extremidade de um pêndulo e, parâmetros como velocidade de riscamento, são determinados em função da posição de liberação do pêndulo.

Os testes de esclerometria são ainda classificados nas seguintes categorias: baixa velocidade e alta velocidade. Essa classificação se dá com base na velocidade do elemento penetrador que risca o material ensaiado (BULSARA *et al.*, 1996). Ainda de acordo com Bulsara *et al.* (1996), as configurações de movimento de baixa velocidade são desenvolvidas em equipamentos onde o indentador realiza o movimento linear, alternativo ou rotativo, enquanto as configurações de alta velocidade são desenvolvidas em equipamentos onde o indentador realiza o movimento pendular e rotacional.

2.2.2 Objetivos do Ensaio de Esclerometria

De forma geral, como tratado em Jacobsson *et al.* (1996), com o ensaio de esclerometria é possível realizar investigações tribológicas com os seguintes objetivos:

2. Medir a dureza ao risco;
3. Determinar os mecanismos de deformação e/ou remoção do material;
4. Classificar os materiais de acordo com sua resistência à abrasão;
5. Estimar a adesão de um revestimento ao seu substrato.

2.3 Esclerometria Pendular

O uso da técnica de esclerometria pendular permite mensurar a energia consumida durante o riscamento (VINGSBO e HOGMARK, 1984) pela variação da energia potencial do pêndulo ou pelo trabalho realizado pela componente tangencial da força de riscamento por unidade de massa perdida. Assim, é possível relacionar variação de energia com algumas propriedades tribológicas dos materiais ensaiados (LIANG *et al.*, 1996).

Através da esclerometria pendular é possível classificar diferentes materiais com relação ao desgaste abrasivo de forma relativamente barata (MARACINI *et al.* 2002). A técnica permite também quantificar a resistência dos materiais à penetração de uma partícula dura (VINGSBO e HOGMARK, 1984).

De acordo com Franco (1992), o desgaste abrasivo pode ser considerado como um processo de múltiplos riscamentos que induz o desprendimento de camadas do material e, por consequência, provoca a degradação da superfície. Trata-se de um processo complexo. Contudo, o fenômeno pode ser simulado de forma razoável através de teste de riscamento usando um esclerômetro pendular de passe único.

Segundo Liang *et al.* (1996), a esclerometria pendular de passe único é uma técnica para a investigação de fenômenos tribológicos que foi desenvolvida nos anos de 1970 por U. Bryggman, S. Hogmark e O. Vingsbo na Universidade de Uppsala, Suécia. A técnica oferece uma alternativa para o estudo do comportamento tribológico de diversos materiais sob diversas condições de riscamento.

Segundo Vingsbo e Hogmark (1984), o primeiro esclerômetro pendular de passe único foi desenvolvido a partir de uma máquina de teste de impacto Charpy, a qual foi modificada para a

realização de testes de riscamento único em corpos de prova com pequenas dimensões. O dispositivo foi denominado de “Pêndulo de Uppsala”.

O esclerômetro pendular de passe único pode medir a energia específica consumida durante o teste de riscamento (SINATORA *et al.* 2001), além de outras grandezas, como dureza dinâmica e coeficiente de atrito (LIANG *et al.*, 1996; VINGSBO e HOGMARK, 1984).

A técnica de esclerometria pendular de passe único pode oferecer um caminho para se estudar o comportamento tribológico de diversos materiais sob diversas condições de carregamentos dinâmicos (LIANG *et al.*, 1996). Esta técnica é rápida e simples, podendo fornecer boas informações sobre o riscamento e apresentando algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais (LIANG *et al.*, 1996).

2.3.1 Energia Específica e Dureza Dinâmica de Riscamento

A energia específica de riscamento, e , é definida como sendo a relação entre o trabalho realizado pela componente tangencial da força de riscamento, dado pela integral da componente tangencial da forma ao longo do comprimento de riscamento, e a massa perdida, W , durante o processo (VINGSBO e HOGMARK, 1984), como mostra a Eq. 1.

$$e = \frac{1}{W} \int F_T dx \quad (1)$$

Vingsbo e Hogmark (1984) mostraram que a curva que melhor descreve a relação entre energia específica e massa perdida é a função de potência mostrada na Eq. 2.

$$e = kW^{(q-1)} \quad (2)$$

Os valores de k e q , são valores de ajuste da curva que podem se relacionar com propriedades físicas ou mecânicas do material (VINGSBO e HOGMARK, 1984). Bryggman *et al.* (1985), encontraram evidências de que os parâmetros k e q podem representar a tensão e a deformação concentrada durante o processo de cisalhamento plástico do cavaco produzido, completando a informação da energia específica consumida durante o ensaio e possibilitando a classificação de diversos tipos de materiais quanto às suas propriedades mecânicas.

A dureza dinâmica, H_D , é um outro parâmetro determinado a partir do teste de riscamento com o esclerômetro pendular, e é definida de acordo com a Eq. 3.

Trata-se da relação entre o trabalho realizado pela componente normal da força de riscamento, avaliado pela integral da componente ao longo do comprimento de corte, e pelo volume do risco produzido. De acordo com Vingsbo e Hogmark (1984), é uma boa maneira de mensurar as propriedades anti-desgaste do material, podendo ser comparada com a dureza medida por indentação com boa correlação e ser interpretada como a resistência a penetração por elemento abrasivo, como sugerido por Liang *et al.* (1996).

$$H_D = \frac{1}{V} \int F_N dx \quad (3)$$

O uso da esclerometria pendular de passe único permite mensurar a energia consumida durante o riscamento e essa, por sua vez, pode ser relacionada com diferentes propriedades da amostra riscada. Vingsbo e Hogmark (1984) encontraram uma boa relação entre a energia consumida e a resistência à abrasão do material. A energia por unidade de massa, definida no trabalho de Vingsbo e Hogmark (1984) como energia específica, é uma boa forma de classificar materiais e quantificar a resistência à abrasão destes. A energia específica ainda fornece uma medida que reflete mudanças estruturais, deformações ou demais interações que ocorrem durante o riscamento.

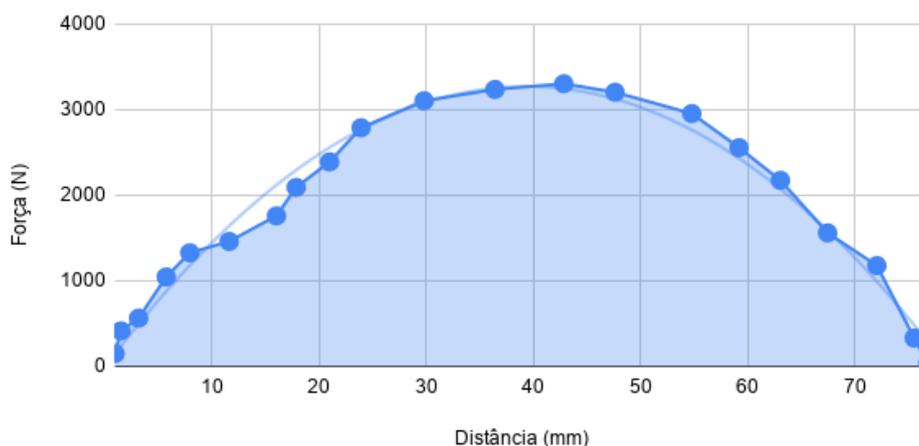
A figura 4 mostra a variação da força tangencial em função da distância de riscamento de acordo com o ajuste proposto por Vingsbo e Hogmark (1984). Nesse caso, a dependência da força tangencial com a posição é descrita pela equação do oscilador harmônico simples, dada pela Eq. 4, onde m e x representam, respectivamente, a massa e o deslocamento do pêndulo. A Eq. 5 é a solução da equação de movimento para o pêndulo.

$$m \frac{dx^2}{dt^2} + kx = 0 \quad (4)$$

$$F(t) = -F_0 k \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (5)$$

A Eq. 4 descreve a dinâmica do movimento pendular e tem a Eq. 5 como solução. Na Eq. 5, a força como função do tempo é dada pelo produto da força máxima, F_0 , a constante de elasticidade do pêndulo, k , e a função seno de oscilação onde ω é a frequência angular e ϕ é a fase do oscilador.

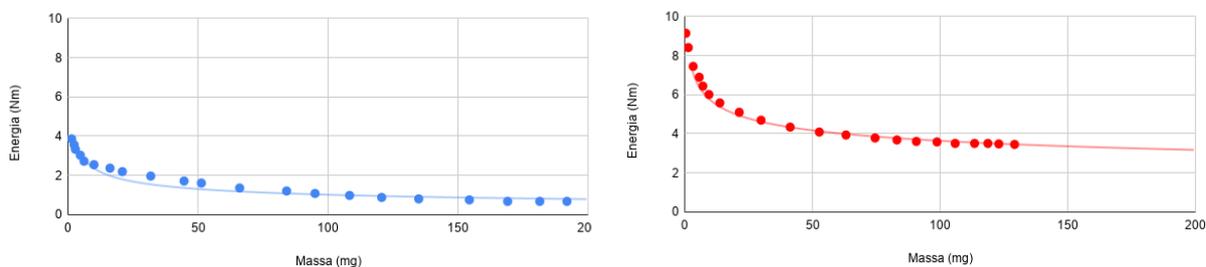
Figura 4 – Componente tangencial da força de riscamento em função da distância.



Fonte: Adaptado de Vingsbo e Hogmark (1984).

A figura 5 mostra uma curva de variação da energia específica, eixo das ordenadas, em função da massa perdida, eixo das abscissas, em um ensaio de riscamento do latão 57/39 e do aço *hadfield* (aço austenítico), seguindo uma função de potência, conforme a Eq. 2.

Figura 5 – Energia específica consumida versus distância.

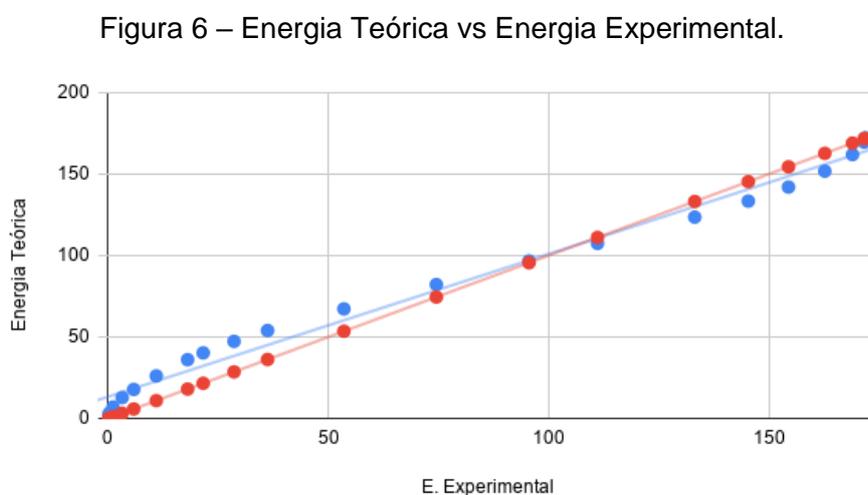


a) Latão 57/39.

b) Aço Hadfield.

Fonte: Adaptado de Vingsbo e Hogmark (1984).

A figura 6 mostra a energia calculada, ou energia teórica, conforme a Eq. 1, no eixo vertical, versus a energia registrada, no eixo horizontal, ambas as variáveis são dadas Joule. A diferença entre o que é medido e o que é calculado é a perda de energia causada por vibrações na estrutura do pêndulo, atrito ou deformações elásticas no braço do pêndulo ou demais elementos da estrutura, conforme sugerido por Vingsbo e Hogmark (1984).



Fonte: Adaptado de Vingsbo e Hogmark (1984).

2.3.2 Coeficiente de Atrito

Com o auxílio do esclerômetro pendular de passe único é possível medir o coeficiente de atrito a partir das forças envolvidas no riscamento. Liang *et al.* (1996) define o coeficiente de atrito entre a amostra e o riscador como sendo a razão entre a máxima componente tangencial da força de riscamento e a máxima componente normal da força de riscamento registrada durante o teste, conforme Eq. 6.

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (6)$$

2.4 Instrumentação

A correta instrumentação é fundamental em todas as áreas de desenvolvimento experimental (Tompkins, 1998 e Zelenovsky, 1999). De acordo com Nascimento, Vilarinho e Vilarinho (2013), em algumas aplicações industriais, a instrumentação de processos é de suma importância para o sucesso da operação.

2.4.1 Instrumentação de Força

A instrumentação de força tem importantes aplicações práticas na engenharia e é frequentemente realizada através do emprego de transdutores mecânicos ou eletrônicos (GUADAGNINI, ROCHA E BARLETTE, 2011).

A importância de instrumentos capazes de mensurar forças é primária em trabalhos experimentais em diversas áreas onde é necessário conhecer os esforços atuantes (LOURENÇO, 2018).

Em geral, instrumentos usados para a medição de forças são capazes de medir suas componentes ou o torque a partir da deformação de um elemento mecânico ou da variação das propriedades elétricas de um cristal piezoelétrico (RIBEIRO, 2014).

Os transdutores de força mais utilizados em aplicações que visam avaliar forças e momento torsor são baseados em extensômetros ou cristais piezoelétricos. O princípio de funcionamento de um sistema de medição de força é ancorado na aplicação de uma carga capaz de imprimir deformação nos elementos sujeitos ao carregamento ou no fato de que, carregamentos mecânicos aplicados em determinados cristais, chamados de cristais piezoelétricos, causam a alteração de cargas elétricas (HOFFMAN, 2014).

As características construtivas mais relevantes de um sistema de medição de força são a rigidez, a sensibilidade e a precisão. É possível definir a rigidez como a capacidade de não sofrer deformações durante sua operação, garantindo isenção à medida realizada por ele. A sensibilidade pode ser descrita como a capacidade do instrumento indicar valores com, pelo menos, 1% de fundo de escala. A precisão de um sistema de medição é considerada satisfatória quando este realiza a medição com a precisão mínima de 1% da carga total que pode ser medida (ROSSI, 2008; RIBEIRO, 2014).

2.4.2 Medição de força com extensômetros

A medição de força com extensômetros, baseia-se na aplicação de um elemento transdutor, que é sensível à deformação produzida sobre um corpo elástico devido a força aplicada (GUADAGNINI, ROCHA e BARLETTE, 2011).

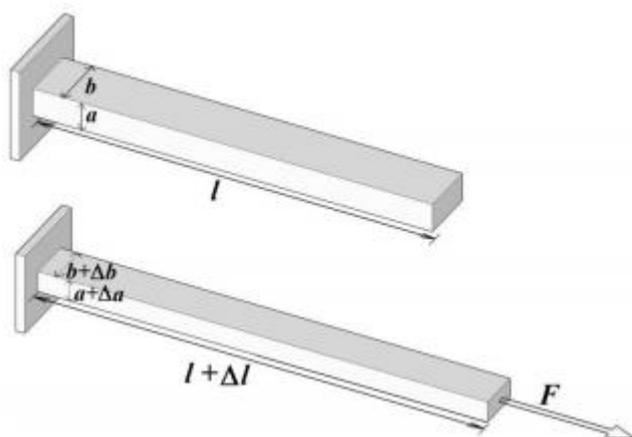
Quando um corpo é submetido a um carregamento axial, seja de tração ou compressão, sofre uma modificação em sua geometria que resulta na variação de seu comprimento inicial.

A figura 7 mostra, de forma esquemática, o comportamento de uma barra retangular submetida a um carregamento axial, onde, l , é o comprimento inicial da barra, Δl , é a variação do comprimento sofrida e ε , é a deformação específica definida pela Eq. 7.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (7)$$

Observa-se na figura 7 que o carregamento, F , gera uma solicitação capaz de deformar a barra retangular. Dessa forma, podemos definir a tensão na qual o corpo está submetido, como sendo a razão entre o carregamento aplicado e a área de aplicação.

Figura 7 – Deformação em uma barra retangular causada por uma carga axial.



Fonte: Guadagnini, Rocha E Barlette (2011).

Tensão e deformação se relacionam segundo a Lei de Hook, para a região elástica, segundo a Eq. 8.

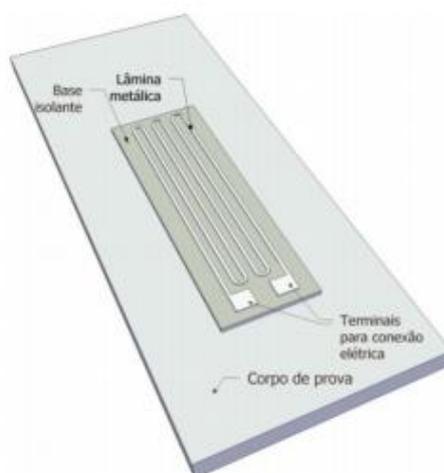
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (8)$$

A Eq. 8 relaciona a tensão aplicada, σ , por uma força, F , e a deformação específica sofrida pelo material, ε . A deformação específica sofrida pelo material é diretamente proporcional à tensão aplicada e a constante de proporcionalidade é o módulo de elasticidade, E , do material.

A deformação a qual um corpo é submetido está diretamente relacionada com a força que é aplicada nele e é nesse princípio que se baseia o funcionamento do extensômetro: a deformação da malha elétrica causará alterações na resistência do extensômetro, seguindo os princípios da segunda Lei de Ohm, como aponta Ribeiro (2014).

O extensômetro de fita metálica ou lâmina (figura 8) é um exemplo dos diversos tipos de extensômetros existentes comercialmente, composto de uma fita metálica arranjada em um padrão alternado e colada sobre um suporte elástico isolante, chamado de base (GUADAGNINI, ROCHA E BARLETTE, 2011).

Figura 8 – Extensômetro de fita metálica.

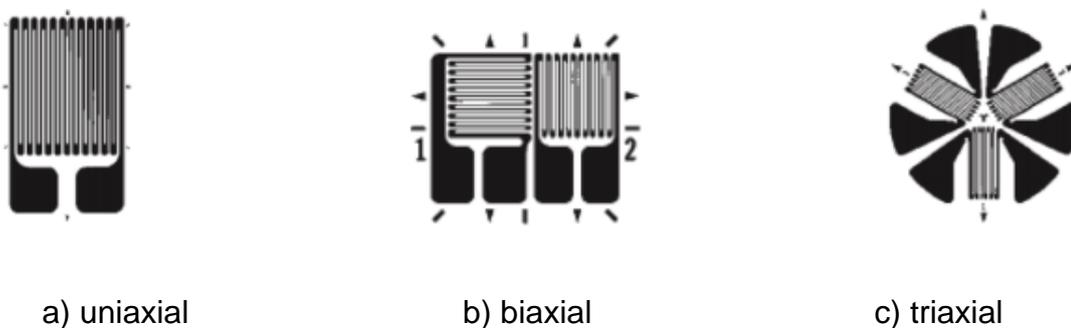


Fonte: adaptado de Guadagnini, Rocha e Barlette (2011).

A aplicabilidade da célula de carga baseada em extensômetro é grande (SHAW, 2005), podendo estar presente em diversos setores industriais que tenha a finalidade de controlar processos que envolvam força, pressão, tensão ou demais quantidades que possam ser relacionadas.

Seus tipos e configurações são diversos, podendo ser empregadas em medições de torque ou forças em até três direções diferentes, como mostrado na figura 9.

Figura 9 – Configuração para medição de forças.



Fonte: adaptado de Rossi (2008) e Ribeiro (2014).

Em suas aplicações, os transdutores do tipo extensômetro se apresentam em diversas configurações associadas de maneira sistemática e conectados entre si através da Ponte de Wheatstone (RIBEIRO, 2014).

2.4.2.1 Ponte de Wheatstone

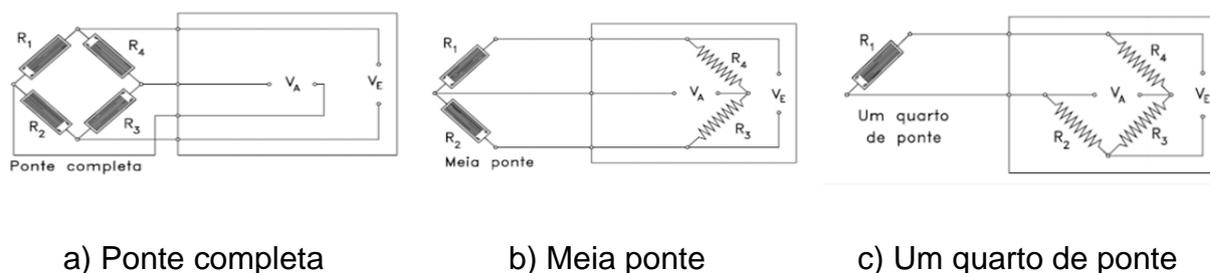
Devido às dificuldades de fazer a leitura direta da variação da resistência elétrica em função de deformações em extensômetros, normalmente utiliza-se o circuito da ponte de Wheatstone para realizar a leitura indireta dessa variação (CUSTÓDIO, 2011).

A topologia da ponte de Wheatstone pode ser aplicada em circuitos capazes de realizar a medição de temperatura, pressão ou força (NETO, 2001). Este tipo de circuito pode ser usado para o estudo das forças envolvidas em testes de riscamento, como no caso do ensaio de esclerometria pendular.

O princípio de funcionamento da ponte de Wheatstone é o de determinar a resistência de um resistor variável, sensível à deformação mantendo as outras três resistências com valores bem estabelecidos, a força aplicada ao resistor variável será proporcional ao valor da resistência desse resistor (DA SILVA BORGES, 2015).

A ponte de Wheatstone apresenta 3 configurações diferentes, as quais são conhecidas como ponte completa, meia ponte ou um quarto de ponte, como mostrado na figura 10.

Figura 10 – Configurações da ponte de Wheatstone.



Fonte: Adaptado de Custódio (2011).

A ponte de Wheatstone tornou-se um circuito padrão para as medições com extensômetros de resistência elétrica e é muito utilizado nos dias de hoje. Neste trabalho, foram utilizadas células de carga de ponte completa.

3 Metodologia

Como sugerido pelo título, este trabalho trata de uma contribuição ao desenvolvimento de um esclerômetro pendular de passe único instrumentado. O equipamento começou a ser projetado e construído em 2020, no âmbito do PRH 44.1 e vem sendo continuamente trabalhado. Assim, a metodologia, os resultados e discussões, e as conclusões são parciais.

Nesse sentido, o trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

1. Projeto do sistema para a montagem dos transdutores de força;
2. Projeto das modificações necessárias no equipamento original para transformá-lo em um esclerômetro pendular, além da manufatura de alguns componentes adicionais;
3. Montagem do sistema de aquisição e apresentação dos dados com o *datalogger MyDAQ* da *National Instruments (NI)*;
4. Calibração do sistema de aquisição de dados.

3.1 Projeto do sistema para a montagem dos transdutores de força

O projeto de um sistema com transdutores de força baseados em extensômetros capaz de realizar a medição das forças envolvidas em um ensaio de esclerometria pendular requer que sejam definidas restrições para a sua boa operação e funcionamento. Com o objetivo de alcançar as características necessárias, as seguintes restrições foram definidas:

- Capacidade de indicação das forças envolvidas no teste de esclerometria pendular com capacidade de 5000 N (500 kgf);
- Combinação entre sensibilidade e rigidez adequada para a utilização em instrumentação;
- Componentes operando no regime elástico quando carregados, possibilitando uma resposta linear do sinal;
- Acondicionamento adequado dos transdutores e cabos elétricos que compõem o sistema de aquisição;
- Projeto e construção de um sistema de fixação das amostras a serem ensaiadas (porta-amostras);
- Projeto de uma estrutura rígida adequada para o esclerômetro.

Outra necessidade relevante presente na concepção do sistema foi a especificação dos transdutores utilizados para aquisição das forças durante os ensaios de esclerometria pendular. Dessa forma, as seguintes especificações foram usadas como base:

- Tensão de excitação de 10 Vcc;
- Saída de 2 mV/V;
- Resistência de entrada de 378,10 Ω ;
- Resistência de saída de 352,30 Ω ;
- Histerese de 0,1% da saída do fundo de escala;

As especificações usadas neste projeto e apresentadas acima tiveram como referência o projeto desenvolvido por Ribeiro (2016) e Lourenço (2018). As especificações referentes aos transdutores seguem aquelas de uma célula de carga de capacidade de 5000 N do modelo LCM 304 da OMEGA *Engineering Inc.* Maiores informações sobre as especificações de ambas as células de carga são encontradas no Anexo A.

3.2 Projeto das modificações necessárias no equipamento original para transformá-lo em um esclerômetro pendular

Esta etapa consistiu no projeto conceitual das modificações feitas no equipamento original (figura 11) visando torná-lo apto a realizar ensaios de esclerometria pendular. O projeto das modificações foi realizado com auxílio do *software* *CREO PARAMETRIC 7.0*, versão estudantil.

Figura 11 – Equipamento no início das modificações.



Fonte: Autor.

As operações de modificação do equipamento foram realizadas com o auxílio de uma furadeira de bancada FC 35A da Clark (Figura 12a) e de uma plaina ZOCCA 650 (Figura 12b). Ambas as máquinas se encontram alocadas no Laboratório de Manufatura da UFRN. Além disso, algumas operações de soldagem com eletrodo revestido foram realizadas na estrutura, de modo a adequá-la à nova função.

Figura 12 – Máquinas-ferramentas usadas nas operações de usinagem para adequação do equipamento original.



(a) Furadeira de bancada FC 35A da Clark.



(b) Plaina ZOCCA 650

Fonte: Autor.

3.3 Montagem do sistema de aquisição e apresentação dos dados coletados com o *datalogger MyDAQ NI*

A terceira etapa deste projeto foi a construção de um sistema de aquisição, processamento e registro dos dados coletados utilizando o *datalogger MyDAQ NI*. A *MyDAQ* é um dispositivo portátil para instrumentação de projetos que possibilita a medição de variáveis como corrente e tensão em um circuito. A instrumentação foi auxiliada pelo software *LabVIEW* da *National Instruments* 2019 versão estudantil.

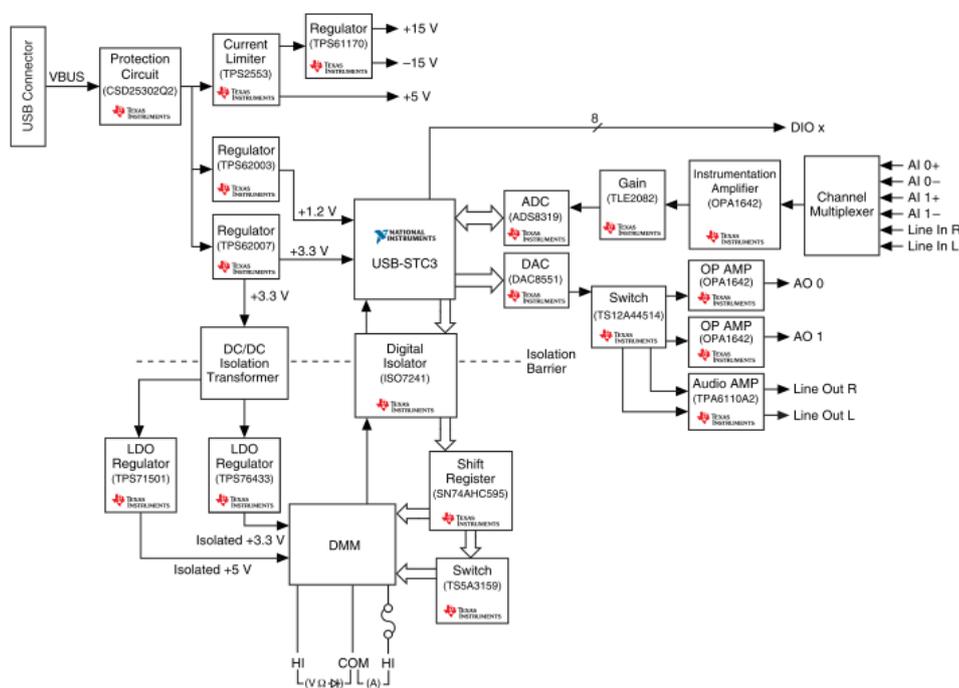
Os materiais necessários para a montagem do circuito de aquisição de dados foram:

- *MyDAQ* da *National Instruments*;
- Amplificadores JY-S60 da CALT;
- Duas células de carga com capacidade de 5000 N, da *OMEGA Engineering*;

- Conectores.

A figura 13 exibe um diagrama esquemático do *hardware* do *MyDAQ* que fornece informações sobre os terminais do equipamento, sendo duas entradas e duas saídas de sinais analógicas, que suportam uma diferença de tensão entre si de até 10 V, os terminais digitais são compostos por oito pontos, operando entre os limites de 3,3 V e 5 V.

Figura 13 – Diagrama de blocos do *hardware* MyDAQ NI.

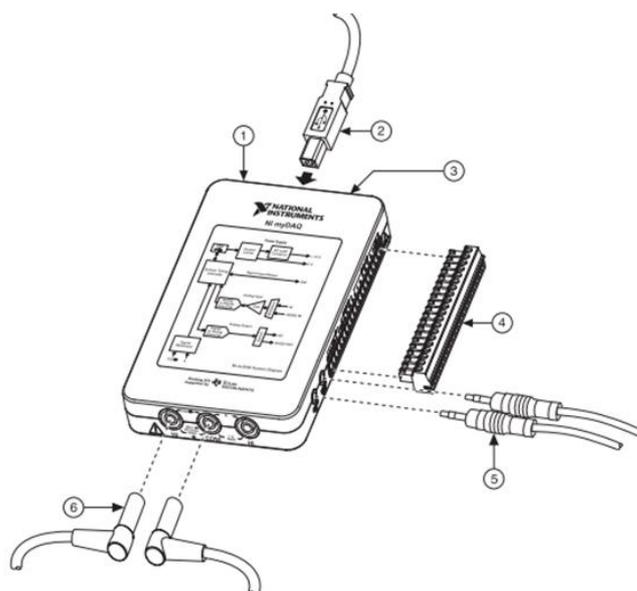


Fonte: Adaptado do Manual da *MyDAQ* (2016).

Os sinais adquiridos pela *MyDAQ* são condicionados antes de passarem por um conversor analógico/digital e serem processados, isso elimina a necessidade de uso de um dispositivo extra para a conversão como é requerida por outros microcontroladores usados em instrumentação.

A figura 14 mostra um diagrama esquemático das conexões da *MyDAQ*. Nele é possível observar onde se deve conectar o cabo USB responsável pela comunicação entre o computador e a *MyDAQ*, este mesmo cabo USB é responsável por alimentar o dispositivo.

Figura 14 – Diagrama esquemática da MyDAQ NI

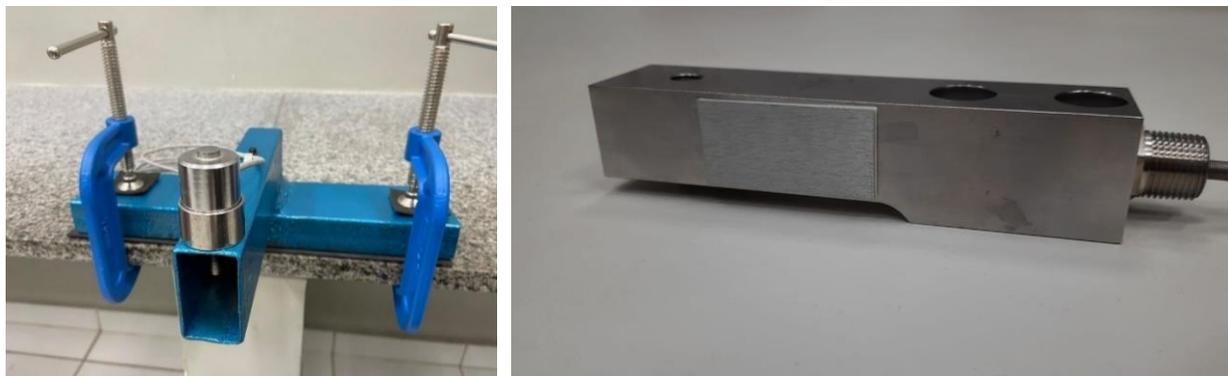


1. My DAQ	4. Terminais Analógicos/Digitais
2. Cabo USB	5. Cabos de Áudio
3. LED	6. Cabos do Multímetro Digital

Fonte: Adaptado do manual da *MyDAQ* (2016).

Os transdutores de força empregados neste trabalho foram células de carga com capacidade de 5000 N dos modelos LCM 304 (figura 15a) e LCM 501 (figura 15b), ambos da ÔMEGA *Engineering Inc*, as especificações das células de carga constam na tabela 1. Para fazer a aquisição das componentes normal e tangencial da força de riscamento durante o teste de esclerometria pendular.

Figura 15 – Células de carga empregadas no projeto.



(a) Transdutor do tipo moeda.

(b) Transdutor do tipo viga.

Fonte: Autor.

Tabela 1 – Especificações das células de carga.

Excitação	10 V
Sinal de Saída	2 mV/V
Exatidão:	
Linearidade	$\pm 0,5\%$ FEO
Histerese	
Repetibilidade	
Equilíbrio Zero	$\pm 2\%$

Intervalo de operação	16°C a 71°C
Deflexão	0,025mm a 0,076mm

Fonte: Autor.

A alimentação das células de carga com a tensão de 10 V foi fornecida pelos amplificadores JY-S60 da CALT, mostrado na figura 16, que operam a 24 V em corrente contínua fornecida por uma fonte externa.

Figura 16 – Amplificador JY-S60 CALT



Fonte: Autor.

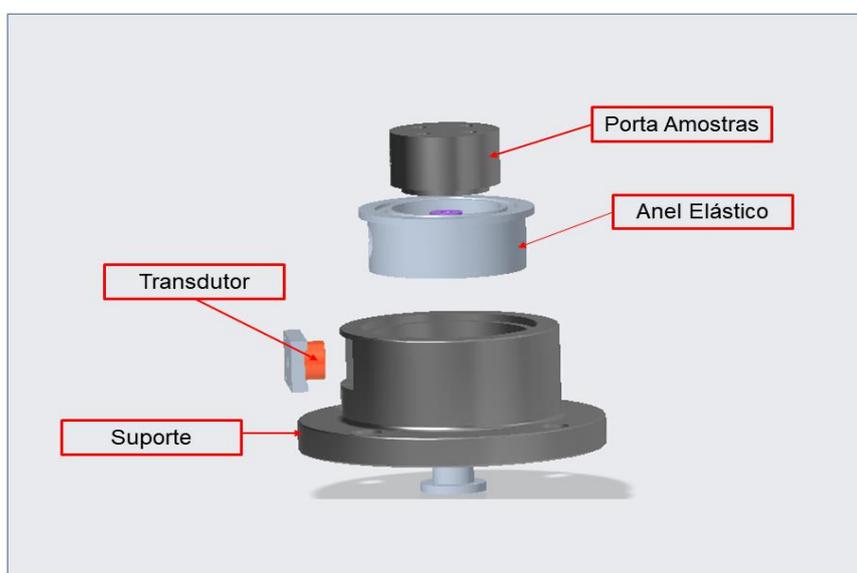
Para garantir o balanço do circuito foi realizado previamente a checagem das resistências de entrada e saída das células de carga com um multímetro Hikari HM-1100.

4 Resultados e Discussões

4.1 Projeto do sistema para a montagem dos transdutores de força

A figura 17 apresenta o primeiro arranjo projetado. Trata-se de um conjunto mecânico para medir as componentes tangencial e normal da força de riscamento. Compõem o dinamômetro dois transdutores de força, suporte, anel elástico, porta-amostras, dois elementos rolantes, duas peças de fixação dos elementos rolantes e duas peças de fixação dos transdutores no interior do dinamômetro.

Figura 17 – Projeto do dinamômetro (primeira versão).

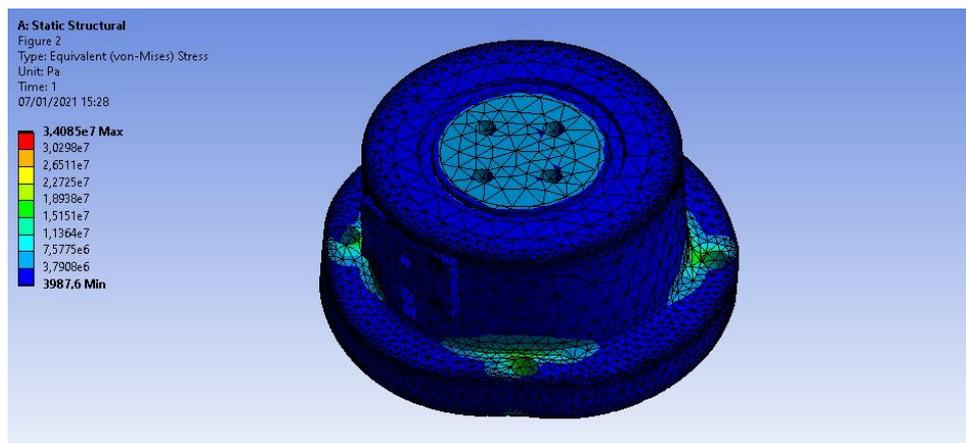


Fonte: Autor.

Durante o desenvolvimento dessa primeira versão, foi necessário simular o comportamento do componente sob carregamento, a fim de entender se as tensões ao qual os transdutores estariam sujeitos e otimizar a dimensão dos elementos do dinamômetro. Durante a simulação foi investigado a possível captação indevida de sinal durante o teste. Dessa forma, propôs-se a inserção de esferas na interface entre a base onde fica a amostra e os transdutores, com o intuito de minimizar efeitos cruzados, isto é, evitar que o transdutor responsável por captar a componente normal da força receba o sinal da força tangencial e a combinação contrária de transdutor e força.

A figura 18 mostra uma análise do comportamento estrutural do dinamômetro em uma situação de carregamento variável, como aquele em que o instrumento estará sujeito quando em operação. A análise foi desenvolvida no Workbench R2 2020 da Ansys.

Figura 17 – Análise das tensões presentes no dinamômetro em fase de projeto.

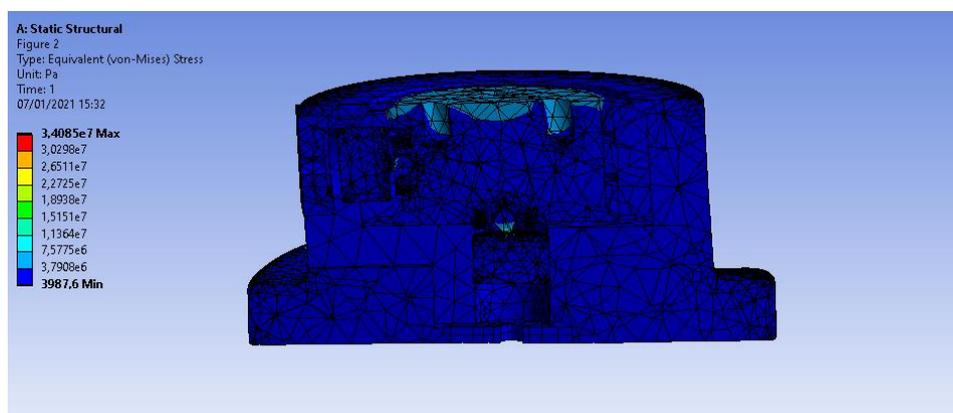


Fonte: Autor.

Na figura 18 é possível observar que os maiores níveis de tensão estão nas regiões próximas aos furos de fixação do dinamômetro e na superfície do dispositivo porta amostra, que é a superfície de aplicação dos carregamentos durante o teste de riscamento.

Na figura 19, pode-se ver a mesma análise anterior em uma vista em corte, onde é possível observar os níveis de deformação associados aos esforços internos do dinamômetro causados pelo carregamento de teste. É possível observar que há uma tendência do dinamômetro se deformar no sentido do movimento de riscamento do esclerômetro. Na figura 20 é possível notar que as tensões mais altas em cada plano de trabalho do esclerômetro pendular se encontram na interface entre a esfera e o transdutor.

Figura 19 – Análise das deformações presentes no dinamômetro em fase de projeto.

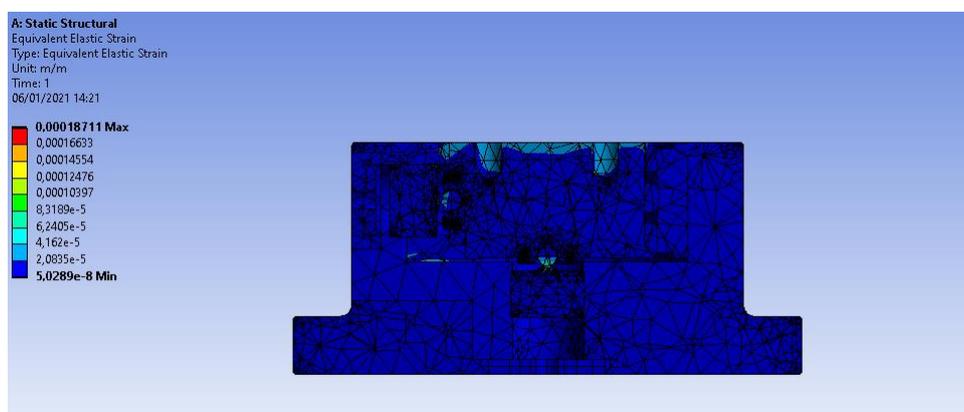


Fonte: Autor.

A figura 19 mostra uma análise estrutural desenvolvida no Workbench R2 2020 da Ansys quanto às deformações presentes no dinamômetro na situação de carregamento variável como aquele em que o instrumento estará sujeito quando em operação.

A figura 20 mostra que, interno ao dispositivo, as regiões que concentram as maiores tensões são as regiões de interface entre a esfera e o transdutor. Esse fato mostra que as forças envolvidas no processo são pouco dissipadas por outras regiões do dispositivo.

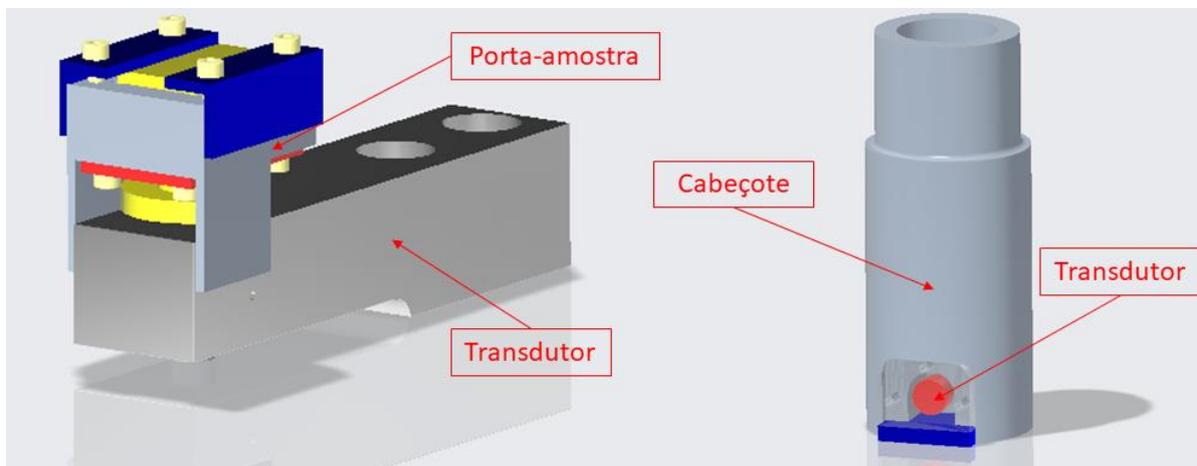
Figura 20 – Tensões concentradas nos transdutores do dinamômetro em fase de projeto.



Fonte: Autor.

As figuras 21 (a) e 21 (b) mostram o segundo arranjo projetado para dispor os transdutores de força para a realização das medidas durante o ensaio de esclerometria. O segundo arranjo surgiu como resposta à troca de uma das células de carga do tipo “moeda” por uma do tipo “viga”, o que acarretou a simplificação do arranjo para medição.

Figura 21 – Disposição dos transdutores com a segunda proposta.



(a) Disposição da célula de carga para medir a componente normal da força de riscamento.

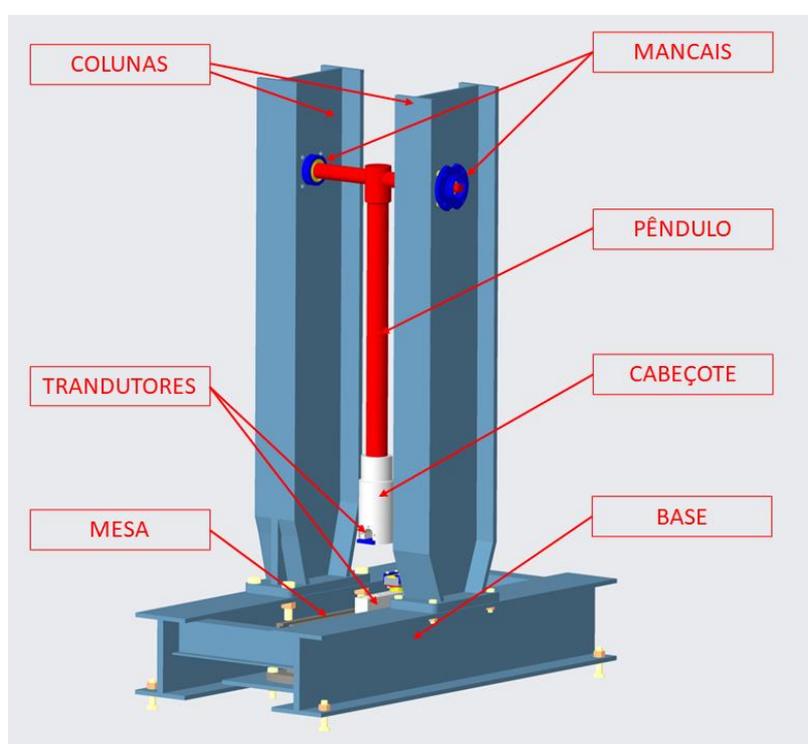
(b) Cabeçote riscador onde será inserido o transdutor para medição da componente tangencial da força de riscamento.

Fonte: Autor.

4.2 Projeto das modificações necessárias no equipamento original para transformá-lo em um esclerômetro pendular

A construção do equipamento no laboratório de manufatura da UFRN foi iniciada pelo projeto das modificações na estrutura, como mostra a figura 22, em paralelo a ela, foi realizada a compra dos insumos necessários e os processos de fabricação necessários para a adequação do equipamento para o uso.

Figura 18 – Projeto de adequação da estrutura.



Fonte: Autor.

A figura 23 apresenta a estrutura do esclerômetro após as modificações no equipamento original. O equipamento foi submetido aos processos de aplainamento, furação, fresamento e soldagem, bem como procedimentos de ajustagem.

Figura 19 – Estrutura do esclerômetro após as modificações no equipamento original.



Fonte: autor.

Os desenhos técnicos referentes ao projeto de modificação do esclerômetro podem ser visualizados no Apêndice B.

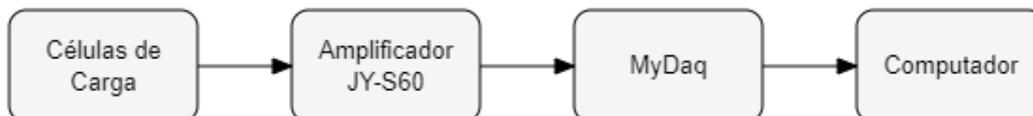
4.3 Montagem do sistema de aquisição e apresentação dos dados coletados com o datalogger MyDAQ NI

Foi realizado o processo de instrumentação a fim de mensurar as forças durante o teste de esclerometria pendular. Para isso, foi desenvolvido um circuito eletrônico que envolve os materiais relacionados no item 3.3 deste trabalho e uma rotina no *software LabView* versão estudantil.

Uma fonte externa fornece 24 V de tensão elétrica aos amplificadores, regulando-a para 10 V e a fornece às células de carga. O sinal captado por ambas as células de carga sofre um ganho de 500 vezes o seu valor inicial ao passar pelos amplificadores JY-S60, em seguida são enviados

à *MyDAQ* onde são processados e as variáveis desejadas são exibidas em uma interface no computador, conforme exibido na figura 24.

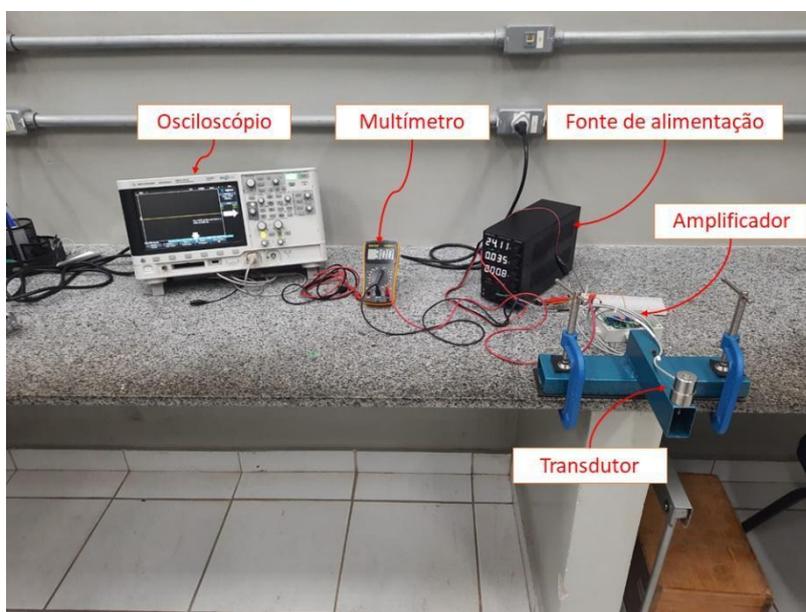
Figura 20 – Esquemática do sistema de aquisição de dados.



Fonte: Autor.

Em seguida os terminais de saída das células de carga são conectados por *jumpers* às duas portas analógicas de entrada da *MyDAQ*, completando o circuito de aquisição de sinais do projeto e possibilitando a aquisição de dados nos testes de esclerometria. Na figura 25 é possível observar o circuito desenvolvido para a instrumentação deste projeto.

Figura 21 – Bancada de testes do circuito desenvolvido.



Fonte: Autor.

Uma vez que todo o circuito está pronto e conectado ao computador, o *LabView* foi o software usado para desenvolver o programa responsável pela aquisição dos dados, processamento e exibição dos dados.

Todo o programa de aquisição e apresentação dos dados é viável graças a utilização do *DAQ Assistant*, como mostrado na figura 26a. Com ele é possível configurar parâmetros, como valores máximos e mínimos da medição, unidades e escalas que são importantes para o processo de instrumentação. O sinal adquirido e processado pela *DAQ Assistant* é desempacotado, convertido de binário para valores numéricos, filtrado com um filtro Savitz-Golay enviado para o processamento nas estruturas posteriores do diagrama de blocos, como mostra a figura 26b.

Figura 22 - Processamento dos dados

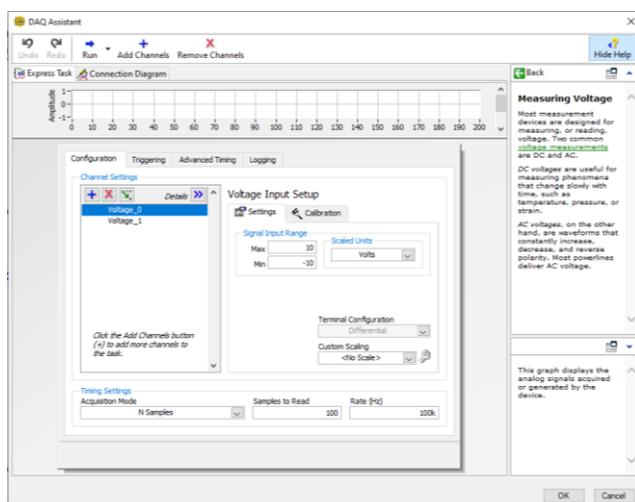


Figura 26a – Configuração do DAQ Assistant para aquisição do sinal.

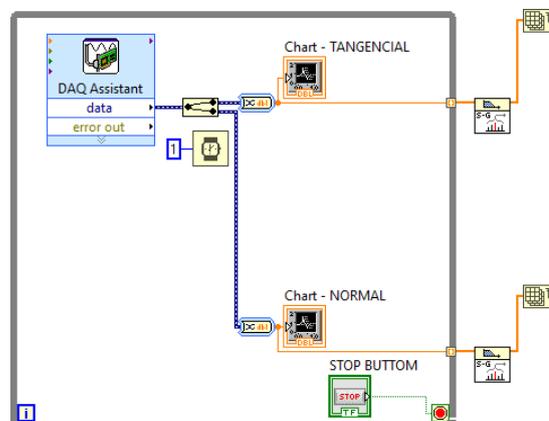
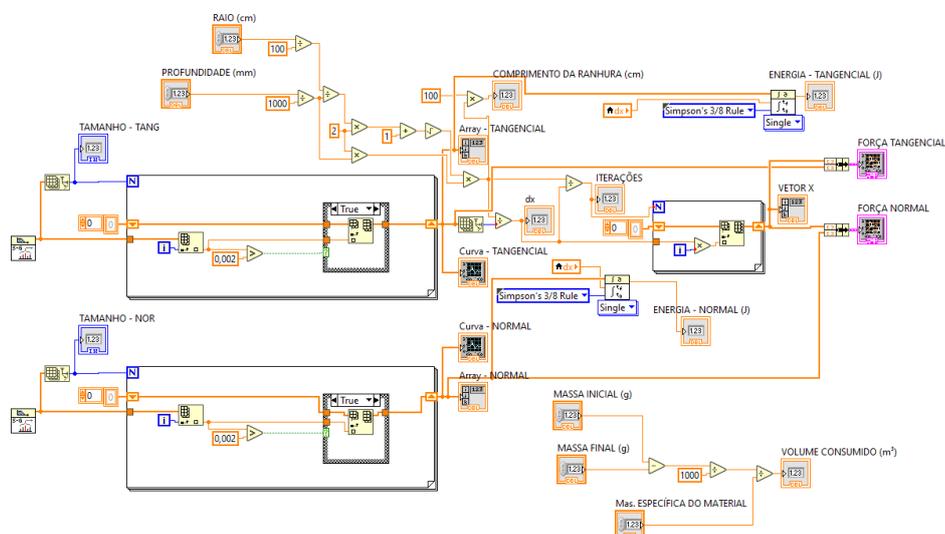


Figura 26b – Desempacotamento, conversão e filtragem do sinal.

Fonte: Autor

Após desempacotado e filtrado, o sinal proveniente de cada célula de carga é enviado para uma cadeia de processos em que o sinal é convertido em um vetor de números ordenado maiores que 0,002, onde é juntado com o conjunto de pontos que descrevem o comprimento do risco formando uma matriz ($n \times 2$) que servirá de base para o cálculo das variáveis de projeto, como mostra a Figura 27. O comprimento do risco é calculado com o auxílio dos parâmetros de construção do esclerômetro e da profundidade de corte.

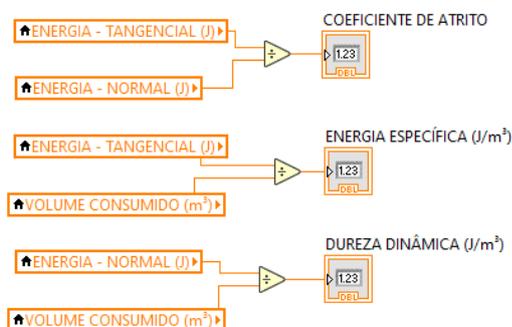
Figura 27 – Diagrama de blocos do processamento.



Fonte: Autor

As variáveis mensuradas pelo sistema de aquisição são as forças normal e tangencial de riscamento e, via modelagem matemática, como indicado a revisão bibliográfica, é possível obter a energia consumida, dureza dinâmica e dureza dinâmica de riscamento, bem como o coeficiente de atrito, como mostrado na figura 28.

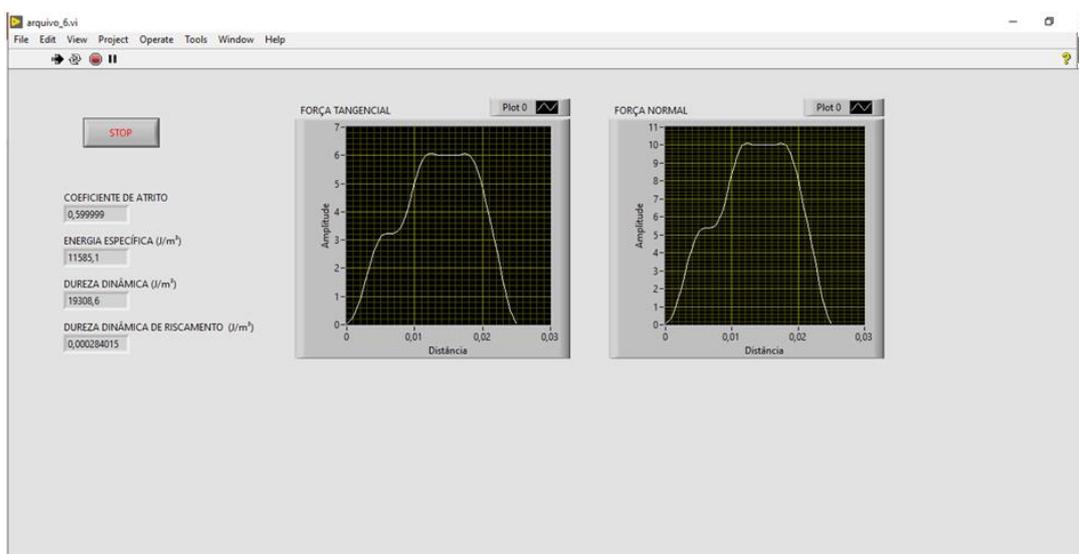
Figura 23 – Obtenção das variáveis desejadas.



Fonte: Autor.

A figura 29 exibe a interface desenvolvida no *software LabView* para a aquisição e apresentação dos dados envolvidos nos testes de esclerometria pendular. Nela podemos avaliar a evolução das componentes normal e tangencial da força de corte em função da posição do riscador, pode-se mensurar e exibir os valores do coeficiente de atrito, da energia específica, da dureza dinâmica e da dureza dinâmica de riscamento após os ensaios. O diagrama de blocos desenvolvido para aquisição de dados pode ser consultado no Apêndice A.

Figura 24 – Interface do programa de aquisição de dados.



Fonte: Autor.

A figura 29 mostra a interface de apresentação dos resultados instrumentados do teste de esclerometria pendular, outros elementos dão suporte a ela, esses elementos estão no diagrama de blocos. Neles está contida a lógica de execução de cada variável mensurada.

5 Conclusões

- As modificações necessárias no equipamento visando torná-lo apto a realização dos ensaios de esclerometria foram planejadas conforme o apêndice B;
- As modificações realizadas no equipamento foram suficientes para garantir a boa montagem e bom funcionamento do equipamento;
- Foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados capaz de realizar a aquisição, amplificação e conversão dos sinais com o desempenho necessário para a realização dos ensaios;
- O programa de aquisição de dados desenvolvido foi capaz de medir, filtrar e plotar os sinais enviados pelos transdutores.
- O programa desenvolvido no software *LabView* foi capaz de determinar as variáveis energia específica, dureza dinâmica de ranhura e coeficiente de atrito.

6 Referências

ABRAHÃO, Anthony. **Idealização, projeto, construção e avaliação de esclerômetros retilíneos totalmente computadorizados**. 1999. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 6200-01(2017): Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analysis**. West Conshohocken, PA, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G99-05: standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus**. West Conshohocken, PA, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G40-01: Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**. West Conshohocken, PA, 2001.

BRAGATTO JÚNIOR, L. **Avaliação do comportamento mecânico e tribológico através de ensaios de esclerometria retilínea de superligas de cobalto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2016.

BRINKSMEIER, E.; HEINZEL, C.; WITTMANN, M. **Friction, Cooling and Lubrication in Grinding**. Annals of the CIRP, v. 48, n.2, p. 581-597, 1999.

BRYGGMAN, HOGMARK and VINGSBO. **Gouging abrasive wear investigated with the aid of single pass pendulum grooving**, submitted to Int. Conf. on Wear of Materials, Vancouver, April 14 - 18, 1985

BULSARA, V. H. *et al.*: ASM Handbook; **Mechanical Testing and Evaluation: Scratch Testing**. 2 ed. Ohio: ASM International, 2000. 2235 p. (Vol. 8), pp. 676-694

BUTTERY, T. C.; ARCHARD, J. F. **Grinding and abrasive Wear**, Proc. Inst. Eng., V. 185, p 537 - 51, 1970/71.

CETIN M. H., OZCELIK B., KURAM E., DEMIRBAS E., **Evaluation of vegetable based cuttingfluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method**. Journal of Cleaner Production, 7:2049–2056, 2011.

CUSTÓDIO, R. A. R. **Proposta de um novo conceito de mocho odontológico**. 2011. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

DA SILVA BORGES, Jacques Cousteau et al. **Métodos e técnicas de medição de torque diretamente em eixos rotativos**. Revista Principia, v. 1, n. 28, p. 121-129, 2015.

CRUZ, Jorge Antônio da Paz. **Inovação tecnológica na área de metrologia de força: protótipo de um sistema de padronização da grandeza através do método da pirâmide de transdutores**. – Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2001.

FELIPE, A. **Análise do processo de fresamento do aço AISI D6 endurecido utilizando mínima quantidade de lubrificante**. 2016. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

Fernandes, U.B., **Análise de métodos de lubri-refrigeração aplicados no processo de retificação cilíndrica interna de mergulho em aços endurecidos**. Tese de Doutorado, UNESP - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru-SP, 163p., 2007.

FINZI, Marcília Batista de Amorim *et al.* **AValiação de fluidos de corte em ensaios de esclerometria pendular**. In: **IX CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**, 2016, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Rio de Janeiro, Brazil: Abcm Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2016.

FRANCO, S. D. **Contribuição ao Estudo do Desgaste Abrasivo de Materiais Polifásicos** (Dissertação de mestrado). 1989. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 115 p., 1989.

FUSSE, Ronaldo Yoshinobu. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A LUBRI-REFRIGERAÇÃO CONVENCIONAL E A MQL NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA DE MERGULHO**. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru - SP, 2005.

GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDISATION (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **DIN 50320: WEAR TERMS SYSTEMATIC ANALYSIS OF WEAR PROCESSES CLASSIFICATION OF WEAR PHENOMENA**. 1979.

GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDISATION (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **DIN 51385: LUBRICANTS - PROCESSING FLUIDS FOR FORMING AND MACHINING OF MATERIALS - TERMS**. 2013.

GUADAGNINI, Paulo Henrique; ROCHA, Fábio Saraiva da; BARLETTE, Vania Elisabeth. **Projeto de um sensor eletrônico baseado em extensometria para medição de força**. Latin-American Journal Of Physics Education, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 753-762, 28 dez. 2011.

HOFFMAN, K. **An Introduction to Stress Analysis and Transducer Design using Strain Gauges**. HBM, 2014.

JACOBSSON, S. et al.: **ASM Handbook; Friction, Lubrication and Wear Technology: Scratch Testing**. 2 ed. Ohio: ASM International, 2000. 2235 p. (Vol. 18), pp. 820-837.

KAYNAK, Y., Lu, T., JAWAHIR, I. S., 2014. **Cryogenic machining-induced surface integrity: a review and comparison with dry, MQL, and flood-cooled machining**. Machining Science and Technology 18 (2), 149-198.

LEADEBAL Jr., W. V., MELO, A. C. A., OLIVEIRA, A. J., CASTRO, N. A., 2019. **Tool wear and chip analysis after the hard turning of AISI D6 steel assisted by LN2**. Machining Science and Technology 23 (6), 886-905.

LEADEBAL Jr., W. V., MELO, A. C. A., OLIVEIRA, A. J., CASTRO, N. A., 2018. **Effects of cryogenic cooling on the surface integrity in hard turning of AISI D6 steel**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 40 (1), 1-14.

LIANG, Y. N., LI, S. Z., LI, D. F., LI, S., 1996. **Some developments for single-pass pendulum scratching**. Wear 199, 66-73.

LI, Binxun; ZHANG, Song; DU, Jin; SUN, Yujing. State-of-the-art in cutting performance and surface integrity considering tool edge micro-geometry in metal cutting process. **Journal Of Manufacturing Processes**, [S.L.], v. 77, p. 380-411, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.03.037>.

LIU, Hongguang; AYED, Yessine; BIREMBAUX, Hélène; ROSSI, Frédéric; POULACHON, Gérard. Impacts of flank wear and cooling strategies on evolutions of built-up edges, diffusion wear and cutting forces in Ti6Al4V machining. **Tribology International**, [S.L.], v. 171, p. 107537, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107537>.

LIU, Hongguang; XU, Xiang; ZHANG, Jun; LIU, Zhechao; HE, Yong; ZHAO, Wanhua; LIU, Zhanqiang. The state of the art for numerical simulations of the effect of the microstructure and its evolution in the metal-cutting processes. **International Journal Of Machine Tools And**

Manufacture, [S.L.], v. 177, p. 103890, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2022.103890>.

LOURENÇO, Maria Augusta de Menezes. **Projeto e construção de dinamômetro triaxial com múltiplos elementos elásticos**. 2018. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2018.

LOW, K. O., TEO, W. C. Characteristics of SBR, Neoprene and EPDM compounds in a single-pass pendulum scratch. **Tribology International** 54, 9-16. 2012.

PARO, J., HANNINEN, H., KAUPPINEN, V. **Tool wear and machinability of X5 CrMn 18 8 stainless steels**. J. Mater. Process Tech., 119, p. 14-20, 2001.

MACEDO, Felipe Tadeu Barata de. **SIMULAÇÃO DA ADUÇÃO DE MEIO LUBRIFRIGERANTE NA RETIFICAÇÃO COM REBOLOS ESTRUTURADOS**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MACHADO, A.R, ABRÃO, A.M., COELHO, R.T., SILVA, M.B., **“Teoria da Usinagem dos Materiais”**, Editora Blucher, São Paulo - SP, 371p., 2009.

MARACINI, R. F.; MACHADO, A. R.; FRANCO, S. D. **Efeitos da temperatura sobre Energia Específica de Riscamento do Alumínio Comercialmente Puro**. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2002.

NASCIMENTO, Lucas Alves do; VILARINHO, Laura Oliveira; VILARINHO, Louriel Oliveira. **DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO PARA MEDIÇÃO DE ESFORÇOS DE TORÇÃO E FORÇA AXIAL EM ENSAIO DE DEPÓSITO BRASADO**. In: **7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 7., 2013, Penedo, Itatiaia – RJ, 2013.

NASCIMENTO, *et al.* **CALIBRAÇÃO ESTÁTICA E DINÂMICA DE UM TORQUÍMETRO UTILIZADO EM ENSAIOS SIMULATIVOS DE DESGASTE DE DEPÓSITO BRASADO**. In: **9º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 9., 2017, Joinville – SC, 2017.

NBR 6674 – **Materiais metálicos – Calibração de instrumentos de medição de força utilizados na calibração de máquinas de ensaios uniaxiais**. 1999.

NETO, Carlos Dreyer et al. **Desenvolvimento de uma plataforma de força em pedal de ciclismo**. Revista Brasileira de Biomecânica, v. 2, n. 3, p. 39-44, 2001.

OST, Charles Antonio. **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço P20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificação refrigerante**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

PEREIRA, G. R. **Investigação sobre o torneamento de acabamento da liga de alumínio 6262E-T6 utilizando diferentes métodos de aplicação de lubrificante refrigerante**. 2016. 22 fls. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RIBEIRO, Kandice Suane Barros. **Construção de Dinamômetro para avaliação de carregamentos na manufatura de componentes para a Indústria do Petróleo**. 2014. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2014.

ROSSI, Guilherme Cruz. **Estudo das Forças de Corte no Processo de Fresamento de Bordas de Chapas Utilizadas para a Fabricação de Tubos de Aço com Costura**. 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SALES, Wisley Falco *et al.* **UTILIZAÇÃO DA ESCLEROMETRIA PENDULAR NO ESTUDO DA PERFORMANCE DE FLUIDOS DE CORTE**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 1999, Águas de Lindóia - Sp.

SALES, W. F., DINIZ, A. E., MACHADO, A. R., 2001. **Application of cutting fluids in machining processes**. J. Braz. Soc. Mech. Sci. 23 (2), pp.227-240

SCHIMITEL, Taylon Armani SANTOS, Wallaf Henrique. **ENSAIOS DE MICROABRASÃO E ESCLEROMETRIA DA SUPERLIGA Co-30Cr-19Fe**. 2017. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - Es, 2017.

SECCO, Daniel de Carvalho, OLIVER, Afonso Carlos e RODRIGUES, Alessandro Roger. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE REFRIGERANTE E VISCOSIDADE DE FLUIDOS DE CORTE APLICADOS NA USINAGEM** In: XVIII Congresso Regional de Estudantes de Engenharia Mecânica., 2011 - Erechim - RS, 2011. p. 1-2. Disponível em: <https://abcm.org.br/anais/creem/2011/ftp/05.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SECCO, Daniel de Carvalho *et al.* **FLUIDOS DE CORTE PARA USINAGEM: MENOR VISCOSIDADE PREJUDICA A LUBRIFICAÇÃO?**. In: XIX Congresso Nacional de Estudantes de

Engenharia Mecânica., 2012 - São Carlos - SP, 2012. p. 1-6. Disponível em: <http://docplayer.com.br/38101906-Fluidos-de-corte-para-usinagem-menor-viscosidade-prejudica-a-lubrificacao.html>. Acesso em: 03 nov. 2020.

SECCO, Daniel de Carvalho *et al.* **ANÁLISE LUBRIRREFRIGERANTE DE FLUIDOS DE CORTE**. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 7., 2013, Penedo, Itatiaia – Rj., 2013. p. 1-8. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/cobef2013b.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

SHAW, Milton C. **Metal Cutting Principles**. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005.

SO, H., **Characteristics of Wear Results Tested by Pin-on-Disc at Moderate to High Speeds**. Tribology International, v.29, n.5, pp. 415-423, 1996.

SOUZA, Juliana Ricardo de. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS TRIBOLOGICAMENTE EFICAZES**. 2015. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2015.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte**. 4.ed. Florianópolis: UFSC, 1995. 2v

Tompkins, W. J. **Interfacing Sensors to the IBM PC**, 1ª Edição, Ed. Prentice Hall, pp. 83-94. 1998.

VÉLEZ, J, Tanaka, D. K., Sinatora, A., Tschiptschin, A. P. **Evaluation of abrasive wear of ductile cast iron in a single pass pendulum device**. Weat (2001) 250-251 1315-1319.

VERDI, Josué. **DISPOSITIVO PINO-DISCO PARA ANÁLISE DE DESGASTE NA PRESENÇA DE DIESEL E BIODIESEL**. 2011. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VINGSBO, O., HOGMARK, S. **Single-pass pendulum grooving – A technique for abrasive testing**. Wear 100, 489-502. 1984.

ZELENOVSKY, R. **Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento**, 2ª Edição, Ed. MZ, pp. 452-465. 1999.

7 Anexo

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS TRANSDUTORES

OMEGA ENGINEERING INC.

LOAD CELL
FINAL CALIBRATION0.000 - 500.000 KgF
Excitation 10.000 Vdc

Job: WHM0045770
 Model: LCM501-500
 Date: 12/8/2021
 Calibrated: 0.000 - 500.000 KgF

Serial: 390215
 Tested By: ED
 Temperature Range: +16 to +71 C
 Specfile: LCM501

Force KgF	Unit Data mVdc	Normalized Data
0.000	0.188	0.000
250.000	15.163	14.975
500.000	30.165	29.977
250.000	15.187	14.999
0.000	0.189	0.001

Balance	0.188	mVdc
Sensitivity	29.977	mVdc
In Resist	418.00	Ohms
Out Resist	352.20	Ohms
59K Shunt	14.809	mVdc

Change at 0.000 KgF (-INPUT to -OUTPUT)

Calibration Factors: Sensitivity = 2.998 mV/V 59K Shunt = 1.481 mV/V

ELECTRICAL LEAKAGE: PASS
 ELECTRICAL WIRING/CONNECTOR: RED = +INPUT (EXC)
 BLACK = -INPUT (EXC)
 GREEN = +OUTPUT
 WHITE = -OUTPUT

This Calibration was performed using Instruments and Standards that are traceable to the United States National Institute of Standards Technology.

S/N	Description	Range	Reference	Cal Cert
332118	5K COMP C-3027	0 - 2267.962 KgF	C-3027	N/A
US36024066	HP34401A DMM UUT	Unit Under Test	C-1305	C-1305
MY44007356	HP34401A DMM STD	Pressure Monitor	C-1325	

Q.A. Representative : *Ed Suchman Jr* Date: 12/8/2021

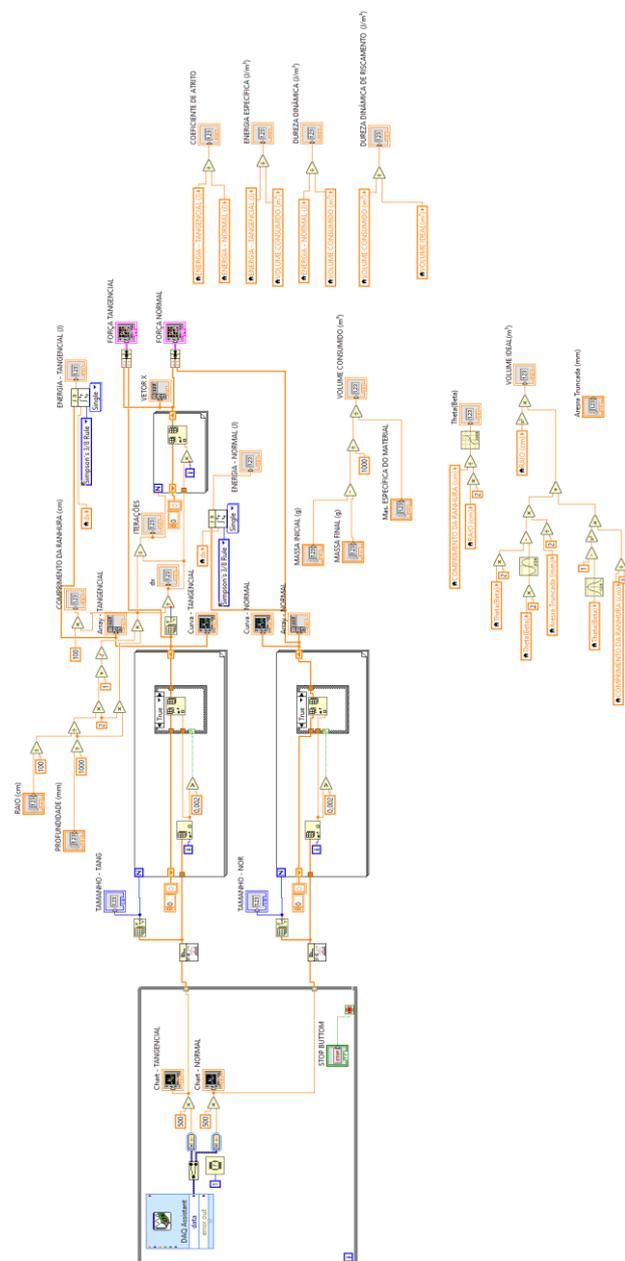
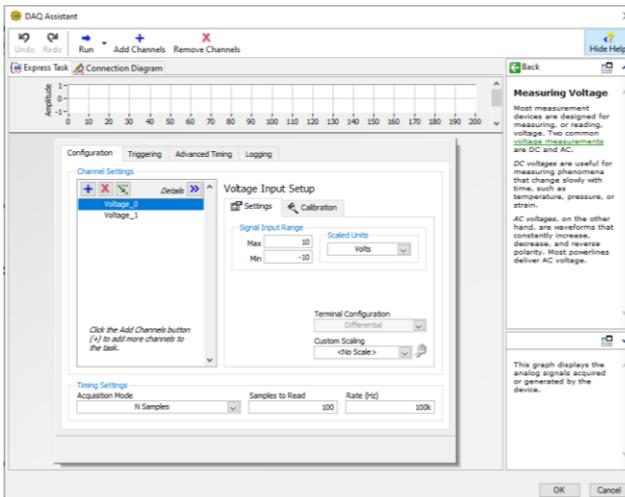
This transducer is tested to & meets published specifications. This product is controlled in a bonded storage location until sold. The recalibration date of this product should not exceed either (A) one year from the date of shipment or (B) five years from the date on this certificate, whichever is less. Calibration cycles less than the provided guidelines should be managed per the customer's quality management system.

COMMENTS: FINAL TEST.

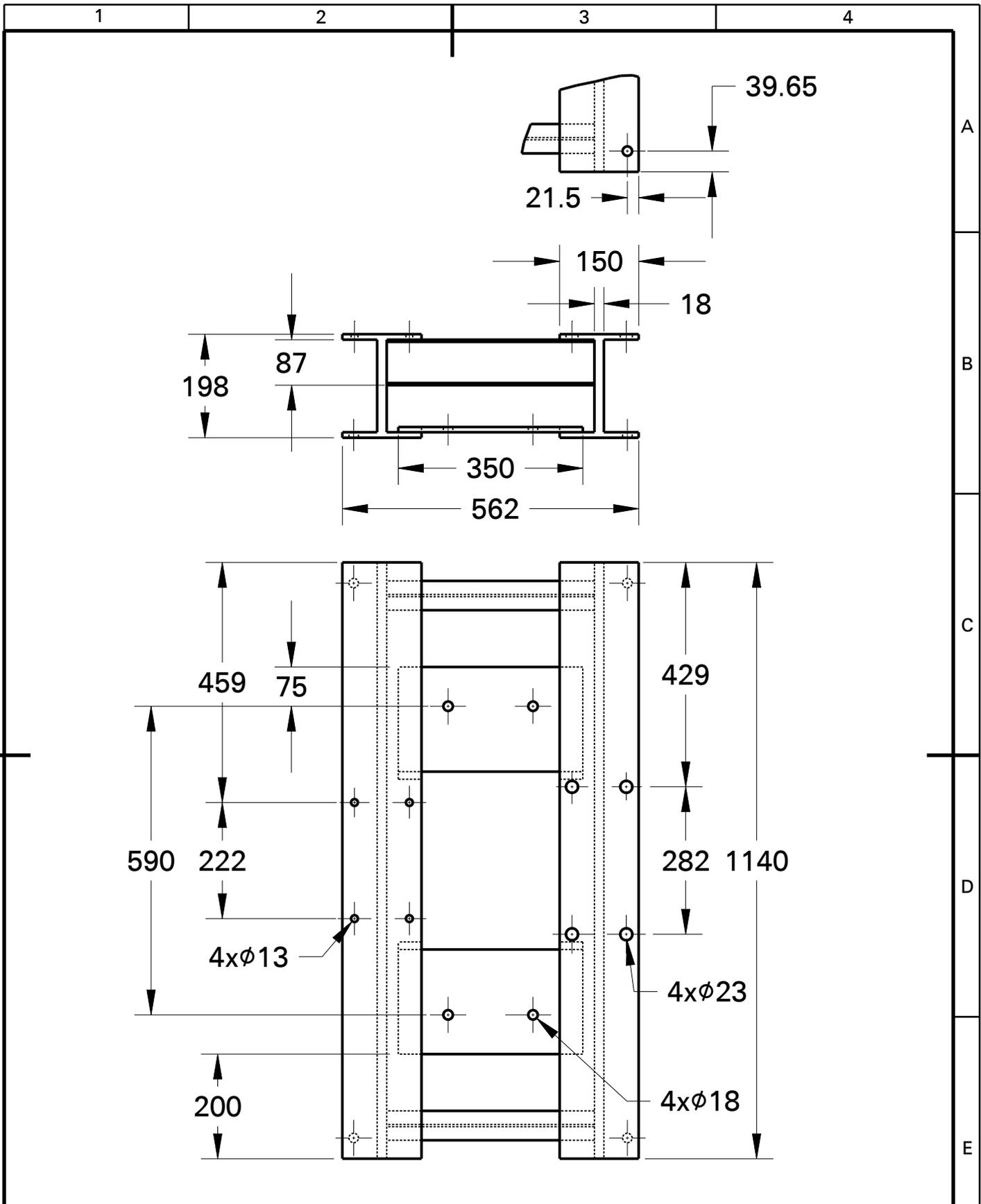
Omega Engineering Inc., 800 Connecticut Ave., Norwalk, CT 06854
<http://www.omega.com> email: info@omega.com phone (800) 826-6342

8 Apêndice

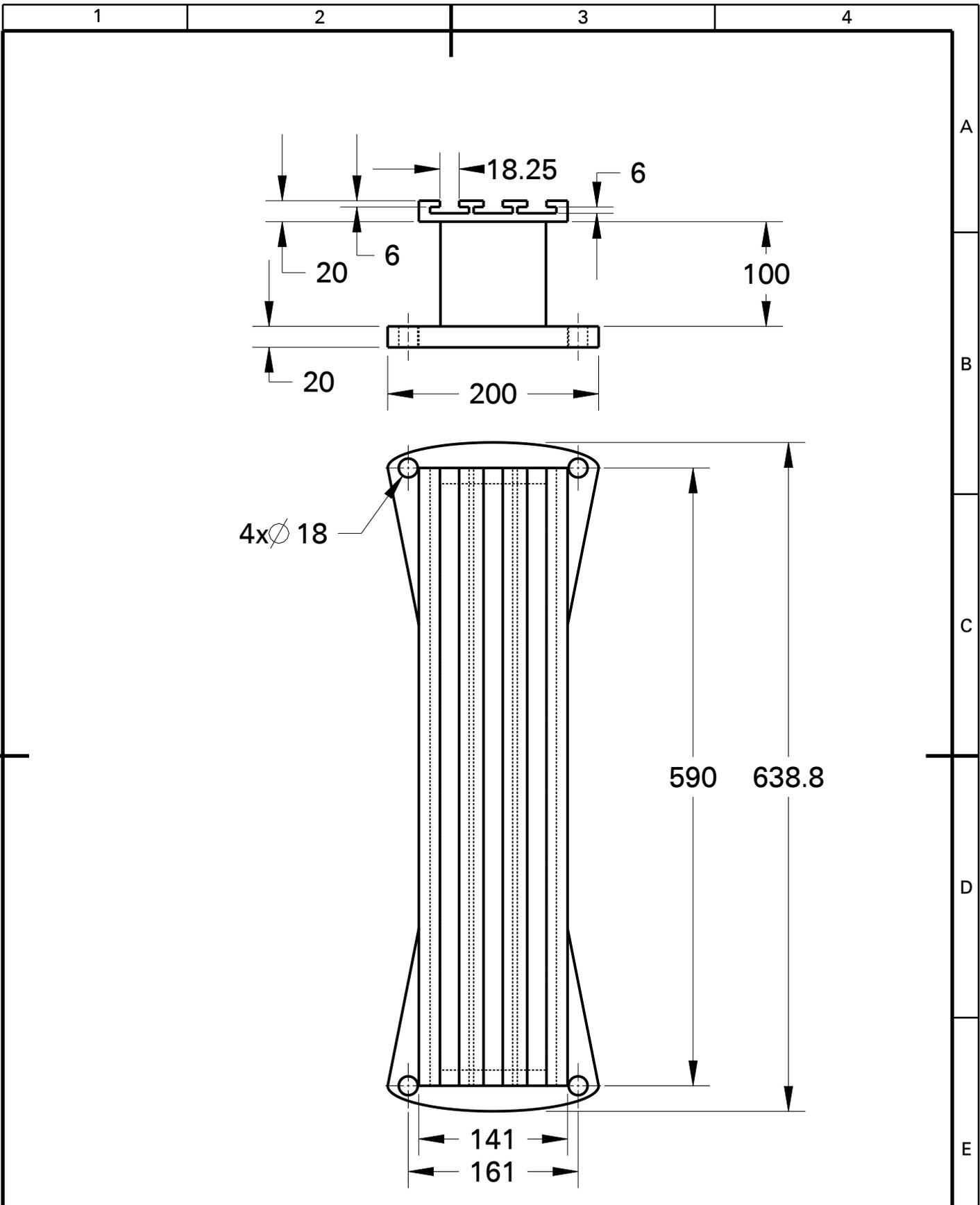
APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS.

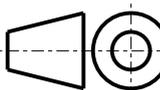


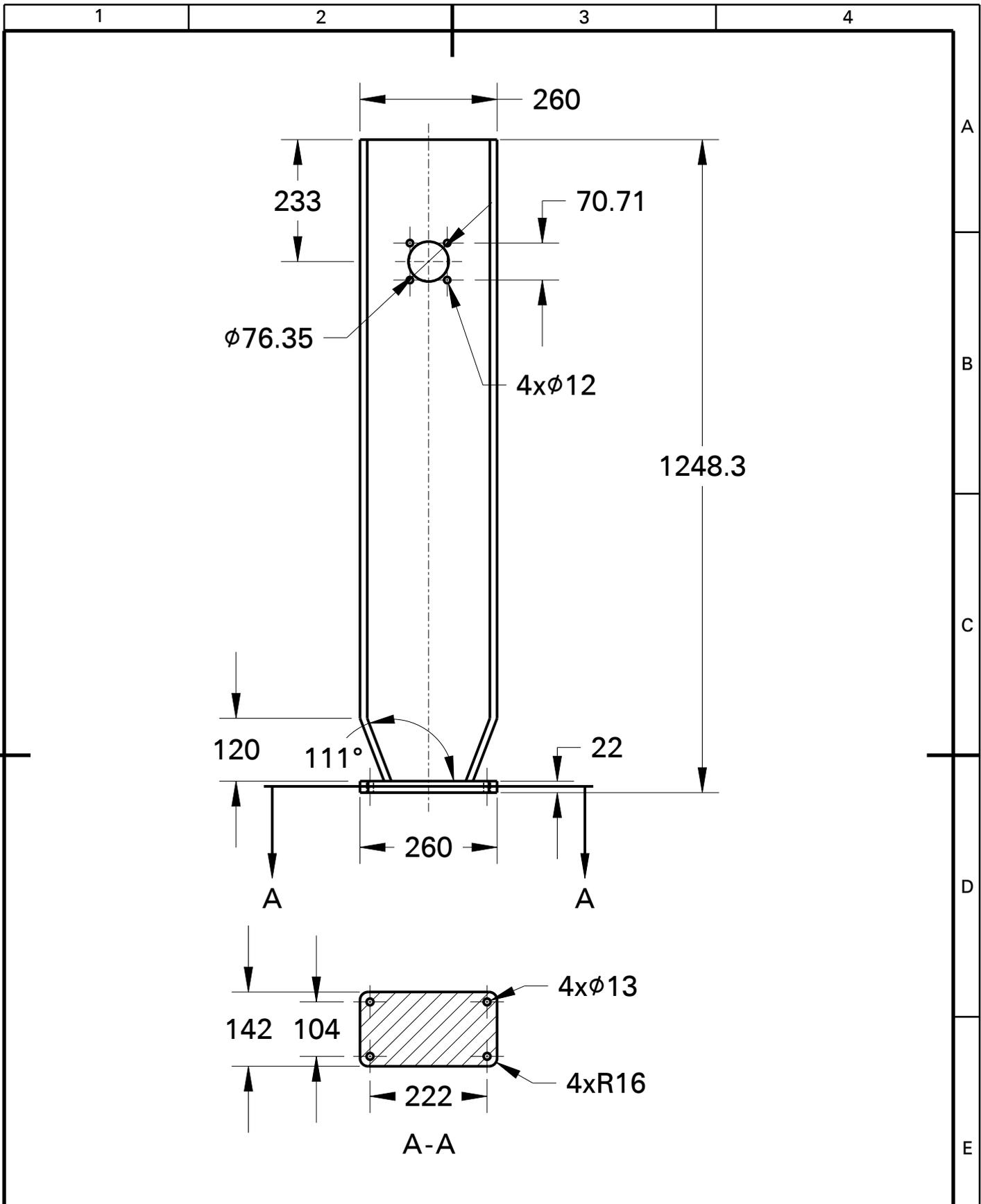
APÊNDICE B – PROJETO MECÂNICO.

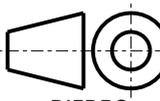


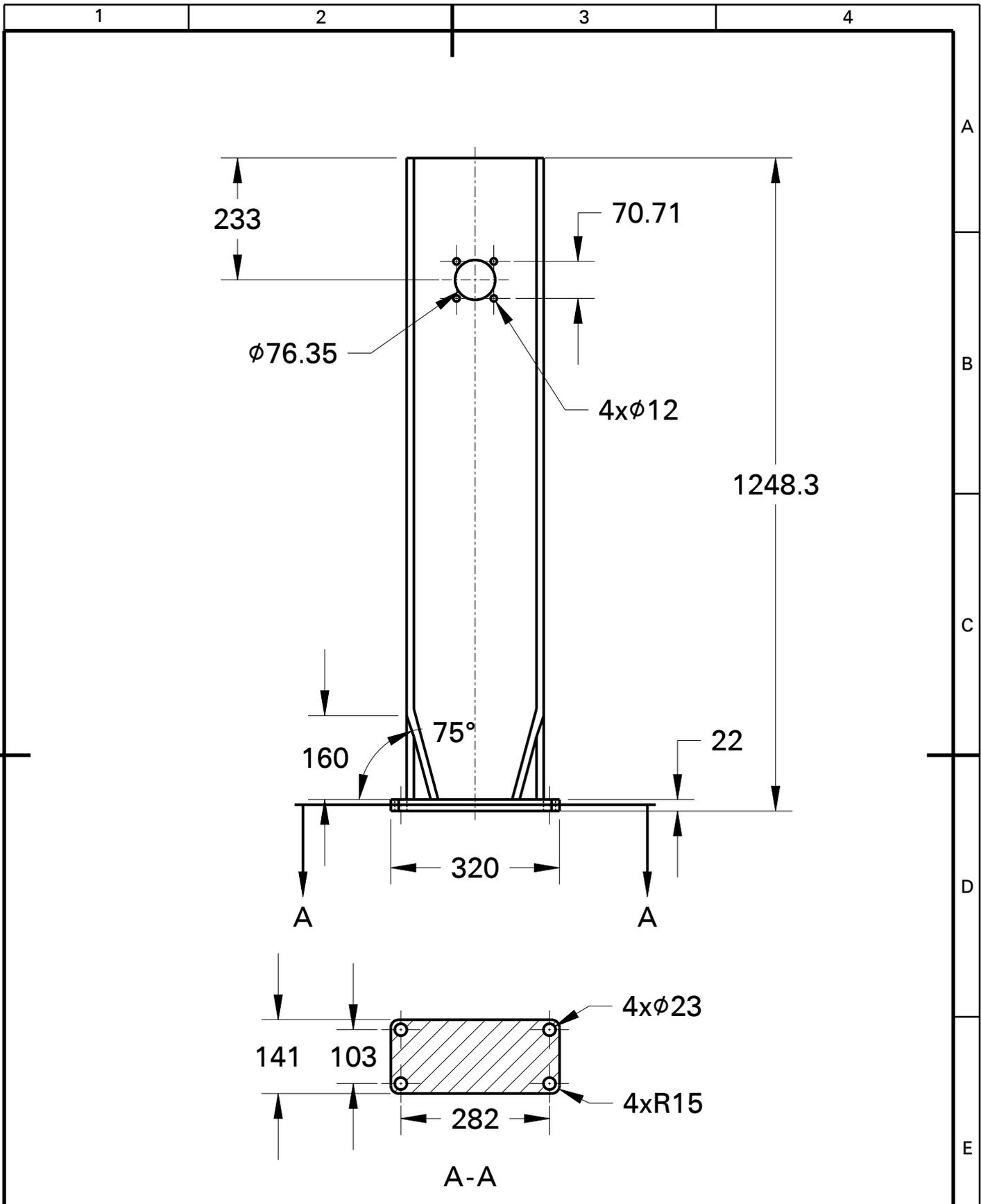
1	1	Base	-	-
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DADOS TÉCNICOS	REFERÊNCIA
		TÍTULO	Esclerômetro Pendular	TOL. GERAL -
		RESPONSÁVEL	Uellen Nicolete Silva	FOLHA 01/07
		LOCAL E DATA	Natal/RN, 25/06/2022	UNIDADES EM mm
		CURSO	Engenharia Mecânica	REVISÃO 00
		DISCIPLINA	-	TURMA

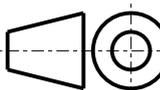


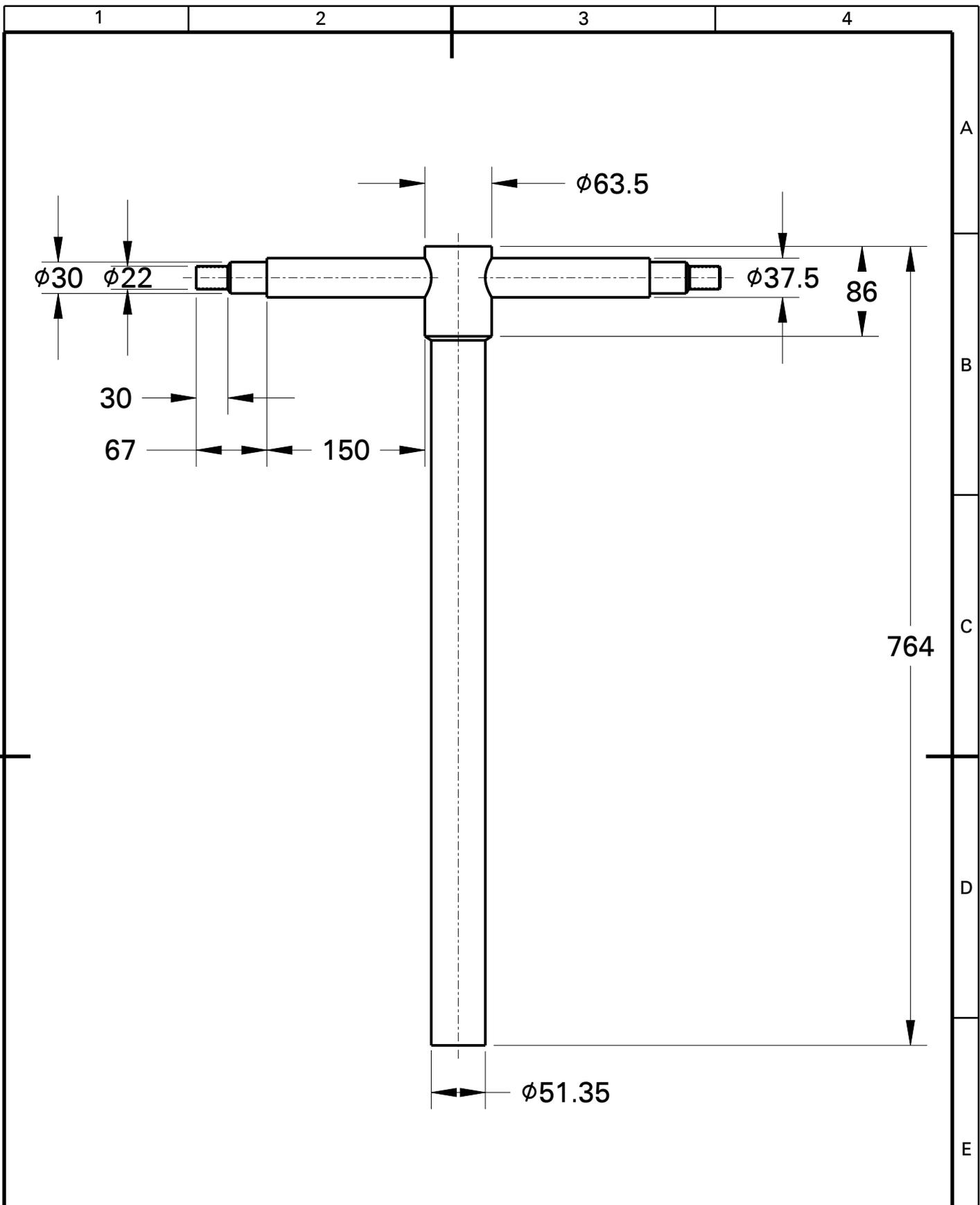
1	1	Mesa	-	-
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DADOS TÉCNICOS	REFERÊNCIA
		TÍTULO	Esclerômetro Pendular	TOL. GERAL -
		RESPONSÁVEL	Uellen Nicolete Silva	FOLHA 02/07
		LOCAL E DATA	Natal/RN, 25/06/2022	UNIDADES EM mm
		CURSO	Engenharia Mecânica	REVISÃO 00
		DISCIPLINA	-	TURMA



1	1	Coluna Esquerda	-	-
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DADOS TÉCNICOS	REFERÊNCIA
		TÍTULO	Esclerômetro Pendular	TOL. GERAL -
		RESPONSÁVEL	Uellen Nicolete Silva	FOLHA 03/07
		LOCAL E DATA	Natal/RN, 25/06/2022	UNIDADES EM mm
		CURSO	Engenharia Mecânica	REVISÃO 00
		DISCIPLINA	-	TURMA



1	1	Coluna Direita	-	-
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DADOS TÉCNICOS	REFERÊNCIA
		TÍTULO	Base do Esclerômetro	TOL. GERAL -
		RESPONSÁVEL	Uellen Nicolete Silva	FOLHA 04/07
		LOCAL E DATA	Natal/RN, 25/06/2022	UNIDADES EM mm
		CURSO	Engenharia Mecânica	REVISÃO 00
		DISCIPLINA	-	TURMA



1	1	Pêndulo	-	-
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DADOS TÉCNICOS	REFERÊNCIA
		TÍTULO	TOL. GERAL	UNIDADES EM
		Esclerômetro Pendular	-	mm
		RESPONSÁVEL	FOLHA	REVISÃO
		Uellen Nicolete Silva	05/07	00
LOCAL E DATA		Natal/RN, 25/06/2022	ESCALA	N° DO DESENHO
CURSO			1:5	06/2022
DISCIPLINA		-	TURMA	-

