

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO

GUILHERME LUIZ RIBEIRO ZANATA FERRI

ESTUDO DO DESGASTE ENTRE AÇO SAE 1020 E POLÍMEROS DE BAIXO  
ATRITO

BAURU

2021

GUILHERME LUIZ RIBEIRO ZANATA FERRI

ESTUDO DO DESGASTE ENTRE AÇO SAE 1020 E POLÍMEROS DE BAIXO  
ATRITO

Relatório Final de iniciação científica do curso de Engenharia Mecânica apresentado ao programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Sagrado Coração, sob orientação do Profº Dr. Gill Bukvic.

BAURU

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

F388e	<p>Ferri, Guilherme Luiz Ribeiro Zanata</p> <p>Estudo do desgaste entre Aço Sae 1020 e polímeros de baixo atrito / Guilherme Luiz Ribeiro Zanata Ferri. -- 2021. 35f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Gill Bukvic</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Desgaste. 2. Atrito. 3. Propriedades. 4. Polímeros. 5. Aço SAE 1020. I. Bukvic, Gill. II. Título.</p>
-------	---

Elaborado por Lidiane Silva Lima - CRB-8/9602

Dedico a minha família e minha namorada, que me auxiliaram durante todo o processo de construção deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, gostaria de agradecer a toda minha família e amigos. Especialmente, meus pais que sempre me apoiaram com tudo que eu precisava durante a minha vida.

Um destaque especial é dado a minha namorada, que se desdobrou em esforços para me ajudar, com tudo, durante todo o processo de construção e conclusão do projeto.

A todos os amigos, que direta ou indiretamente participaram da minha formação, o meu muito eterno agradecimento.

Ao Prof. Dr. Gill Bukvic pela oportunidade e apoio durante todo o processo de construção desse projeto.

Ao CNPq pela bolsa fornecida, trazendo assim, mais recursos para a conclusão durante todo o trabalho.

## RESUMO

Polímeros e aços são materiais de excelente qualidade utilizados desde muito tempo atrás, contudo o tempo não fez sua importância diminuir. Há polímeros que ganham cada vez mais ênfase, por suprirem algumas exigências da atualidade, substituindo funções que antigamente somente metais poderiam ocupar, tendo elevada resistência ao desgaste, baixo coeficiente de atrito, trabalhando em temperaturas elevadas ou baixas, com boa resistência química e alguns possuindo ainda a capacidade de auto-lubrificação. No entanto um aspecto que faz muitos materiais serem deixados de lado, principalmente nas indústrias é o desgaste, devido estar em constante atrito em grande parte de suas aplicações, assim os estudos destes materiais são de grande importância tecnológica para os dias atuais, evidenciando suas propriedades, estudando e analisando seus coeficientes de atrito e desgaste. Diante disso, esse projeto tem o objetivo de estudar o desgaste dos polímeros poliamida 6, poliamida 6.6, poliuretano e politetrafluoretileno com o atrito entre o aço SAE 1020, assim analisando qual dos materiais desempenhou menor atrito e desgaste com o aço escolhido. Os ensaios dos polímeros foram realizados utilizando um dispositivo desenvolvido e construído para esse propósito. Ao final foi demonstrado qual o polímero que apresentou o menor desgaste.

**Palavras-chave:** Desgaste. Atrito. Propriedades. Polímeros. Aço SAE 1020.

## ABSTRACT

Polymers and steels are excellent quality materials that have been used since a long time ago, but time has not diminished their importance. There are polymers that are gaining more and more emphasis, for supplying some of today's demands, replacing functions that previously only metals could occupy, having high wear resistance, low friction coefficient, working at high or low temperatures, with good chemical resistance and some even having the ability to self-lubricate. However, an aspect that makes many materials be left aside, especially in the industries is the wear, due to the constant friction in most of their applications, thus the studies of these materials are of great technological importance for the present days, showing their properties, studying and analyzing their coefficients of friction and wear. In view of this, this project aims to study the wear of polymers polyamide 6, polyamide 6.6, polyurethane and polytetrafluoroethylene with friction between SAE 1020 steel, thus analyzing which of the materials performed less friction and wear with the chosen steel. The polymer tests were conducted using a device developed and built for this purpose. At the end, it was demonstrated which polymer presented the least wear.

**Keywords:** Wear. Friction. Properties. Polymers. SAE 1020 steel.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Polímeros .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Polímeros de baixo atrito.....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Poliamida 6.....	11
1.2.2 Poliamida 6.6.....	12
1.2.3 Poliuretano .....	13
1.2.4 Politetrafluoretileno (PTFE) .....	14
<b>1.3 Aço SAE 1020 .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4 RESULTADOS FINAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>6 CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os mercados da atualidade prezam por materiais de boa resistência e com ótimas propriedades, sendo assim novas tecnologias vem sendo criadas para atender as necessidades de todos, desde utensílios domésticos até as indústrias modernas e sofisticadas.

Um impasse sofrido nos dias atuais pelas indústrias é o desgaste de seus componentes mecânicos, devido ficarem em constante atrito, assim buscando cada vez mais por materiais com elevada resistência e baixo coeficiente de atrito.

Existem diferentes tipos de aços, assim apresentando diferentes características, esse é um material que é utilizado há muito tempo e ainda indispensável no dia de hoje, um desses aços é SAE 1020 devido ao seu baixo custo e excelentes propriedades.

Diferentes tipos de materiais são estudados para a melhoria de desempenho e redução de desgaste, deste modo um material muito importante são os polímeros, que com o decorrer dos anos vem ganhando cada vez mais espaço, devido as suas propriedades únicas.

### 1.1 Polímeros

Em 1868 foi criado um dos primeiros polímeros sintéticos, chamado por seu criador, Jhon Wesley Hyatt, de celuloide, sendo largamente utilizado para a fabricação de brinquedos, tintas, vernizes e películas fotográficas (PIATTI; RODRIGUES, 2005). Após essa descoberta, inúmeros outros polímeros foram criados, alterando assim suas cores e formatos.

Dentre os processos industriais, o desenvolvimento de novos plásticos, blendas, compostos e compósitos têm um papel de destaque. Devido a sua fácil processabilidade, boa resistência mecânica, boa resistência à temperatura e ciclos produtivos cada vez menores permite a produção em escala de peças e componentes que até então eram produzidos em metal, com maior produtividade e custos reduzidos (FERRO; et al. 2007).

Desse modo Pereira (2009) define os polímeros como macromoléculas formadas de estruturas menores, os monômeros, que podem se ligar uns aos

outros, assim formando os polímeros (do grego poli, que significa “muitas”, e meros, que significa “partes”).

Existem inúmeros polímeros, com vários ainda em desenvolvimento, muitos deles estão presentes no cotidiano de quase todos, como o poli-isopropeno (látex), a celulose, a politereftalato de etileno (PET), o glicogênio e o amido, sendo divididos em polímeros naturais, que como o próprio nome já diz são encontrados na natureza, e polímeros sintéticos que são produzidos em laboratório, com objetivo comercial (Gomes, 2013).

Considerando polímeros de surpreendentes propriedades mecânicas, térmicas e elétricas há alguns que não podem ser esquecidos como a Poliamida 6, a Poliamida 6.6, o Politetrafluoretileno (PTFE), que são conhecidos por seus respectivos nomes comerciais Nylon, Technyl e Teflon, e o poliuretano estes quatro polímeros podem ser usados nos mais diversos tipos de indústrias, com finalidades totalmente distintas, devido a eles terem pontos de fusão, coeficiente de atrito e resistência a abrasão diferentes, afim de aumentar o rendimento, diminuindo os custos.

De acordo com CORDEBELLO (1999), inúmeras indústrias utilizam os polímeros, como indústrias aeroespaciais ou até mesmo têxteis, mas há exemplos antigos da utilização de polímeros, como na indústria automobilística.

“Hoje, a indústria de polímeros se desenvolveu rapidamente e é maior do que o cobre, aço, alumínio e algumas outras indústrias combinadas.” (Karak, 2009)

## **1.2 Polímeros de baixo atrito**

Algumas das características que aumentam o uso dos polímeros nas indústrias são: facilidade de usinagem, alguns possuem capacidade de auto-lubrificação e uma de suas propriedades mais importantes, o baixo coeficiente de atrito e resistência ao desgaste, que os torna opções mais viáveis que o metal em locais que ocorram atrito entre peças.

De acordo com MANO (2019), a resistência à fricção ou ao deslizamento, é uma propriedade importantíssima para os materiais de engenharia como os polímeros, assim a maioria desses materiais tem um ótimo coeficiente de atrito que

varia entre 0,2 e 0,8, tendo alguns polímeros excepcionais que tem seu coeficiente de atrito ainda menor.

O coeficiente de atrito (grandeza adimensional, ou seja, não apresenta unidades de medida) determina se as superfícies oferecem alta, média ou baixa resistência ao movimento de outros objetos, dessa forma quanto menor o coeficiente, melhor será o deslizamento, gerando menos desgaste.

“O controle do atrito e do desgaste são essenciais para garantir que os sistemas tribológicos funcionem de forma eficiente, confiável e duradoura.” (GROPPER; WANG; HARVEY, 2016)

### 1.2.1 Poliamida 6

As poliamidas foram materiais que tiveram expressiva significância desde muito tempo atrás por causa de suas ótimas propriedades, sendo muito conhecidas também nos dias atuais, por ser utilizada em quase todos os segmentos das indústrias.

As poliamidas ou náilons foram os primeiros materiais a serem reconhecidos como termoplásticos de engenharia, devido às suas boas propriedades mecânicas, especialmente em aplicações expostas ao calor e contato com solventes orgânicos. Estas propriedades permitem que as poliamidas sejam usadas em aplicações atendidas anteriormente apenas por materiais metálicos (Araújo, 2002).

Deste modo a primeira poliamida foi sintetizada no ano de 1935, por um químico chamado Wallace Hume Carothers, contendo em sua estrutura grupos de amida. Foi muito utilizada nas indústrias têxteis na composição de roupas, e ao decorrer dos anos surgiram novas tecnologias, nas quais as poliamidas poderiam suprir suas necessidades, assim originando produtos obtidos por injeção e extrusão.

A Poliamida 6 ou conhecida como nylon 6, é obtida a partir de seu monômero de origem, a Caprolactama, a princípio foi utilizada nas indústrias têxteis para substituir a seda, mas suas propriedades únicas abriram caminho para ser um dos plásticos de engenharia de maior consumo na atualidade.

Segundo Ünlü et al (2009 apud ISHIDA; BEÊ, 2015, p. 9) analisando coeficientes de atrito do tipo pino sobre disco a uma velocidade de 0,13 m/s e 20N de força normal, constatou que a Poliamida 6 apresentou um coeficiente de atrito inicial de 0,33.

Devido às suas propriedades excelentes, como alto ponto de fusão de aproximadamente 216°C, absorção de vibrações, resistência ao desgaste, auto-lubrificante, boa resistência química, baixo coeficiente de atrito e inúmeras outras, é muito presente no setor automotivo, utilizada nas tampas de motores, válvulas, conectores e alojamento de airbags. Mas esse polímero não fica preso somente no setor automotivo, podendo ser usado também em engrenagens, cremalheiras, roscas sem-fim, roldanas, polias, parafusos, chapas de desgaste, placas deslizantes e bases de corte (Araújo, 2002).

### 1.2.2 Poliamida 6.6

Já a Poliamida 6.6 ou Nylon 6.6, tem sua origem no ano de 1935 a partir de seus monômeros Ácido adípico e Hexametileno Diamina, recebendo inicialmente o nome polímero 6.6. Assim como a poliamida 6 foi direcionada para as indústrias têxteis para a confecção de roupas, e junto a ela na atualidade um dos plásticos de engenharia de maior consumo (FACTORI, 2009).

Bergamo (2001 apud FERRO; et al, 2007) evidencia que dois dos principais termoplásticos de engenharia, em termos de volume de material consumido mundialmente são a PA 6 e PA 6.6, devendo esta posição à combinação excelente de boas propriedades físicas e mecânicas. Dessa maneira, apesar de algumas de suas propriedades serem semelhantes à Poliamida 6, seu ponto de fusão é maior, superior a 260°C, sua resistência ao desgaste é ainda mais expressiva e seu coeficiente de atrito é menor, tendo também outras propriedades aprimoradas. Devido às suas genuínas propriedades, há inúmeras aplicações nas indústrias automobilísticas, elétricas, de construção, e na engenharia mecânica leve e de precisão, também em indústrias no geral, sendo utilizadas nas estrelas alimentadoras, roletes, lâminas raspadoras, guias, buchas, e admitindo muitas outras aplicações.

De acordo com Unal et al (2004 apud ISHIDA; BEÊ, 2015, p. 9) foi analisado o coeficiente de atrito no mecanismo pino sobre disco entre a Poliamida 6.6 sobre aço inox com velocidade de 0,5 m/s e pressão de 0,35 MPA, assim sendo constatado seu coeficiente de atrito de 0,32.

### 1.2.3 Poliuretano

Os poliuretanos são polímeros que admitem uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas, assim dependendo de suas matérias-primas é possível alterar suas propriedades, nas indústrias é comum a produção de PU a partir de diisocianato de parafenilemo e o etilenoglicol. Foram desenvolvidos por Otto Bayer no ano de 1937, na Alemanha, tendo como sua principal finalidade ser um formidável concorrente das poliamidas (CANGEMI; et al, 2009).

Os poliuretanos são uma classe notável de polímeros que exibem uma larga faixa de propriedades mecânicas, tornando-os muito versáteis. Dependendo do catalisador e dos monômeros utilizados, pode ser gerada uma grande variedade de materiais, com estrutura maciça ou celular (AQUINO; et al. 2010).

Existem diferentes tipos de Poliuretanos como os fundidos, rígidos, flexíveis, termoplásticos, adesivos, espumas e outros. Por ser muito versátil é utilizado tanto nas indústrias quanto no dia a dia, como dentro do estofamento dos móveis domésticos ou até mesmo nos preservativos.

É possível produzir-se elastômeros de poliuretano de durezas variadas, obtendo-se assim materiais mais elásticos e macios semelhantes às borrachas ou mais duros e de estrutura reticulada como os plásticos. Os elastômeros de poliuretano têm resistência química à água, solventes aromáticos, hidrocarbonetos alifáticos, ácidos orgânicos e bases. O mercado de elastômeros de poliuretano continua evoluindo exponencialmente, pois podem ser usados nos mais variados segmentos (SANTOS, 2007).

Desse modo os poliuretanos são classificados como plásticos de engenharia, apresentando baixo coeficiente de atrito, alta resistência ao desgaste, à compressão, à fadiga e à tração. As indústrias exigem que o material tenha um ótimo desempenho, que os poliuretano são capazes de suprir, sendo utilizados em vários tipos de vedação por suportar temperaturas de 90°C em uso contínuo; muito utilizado para revestimentos e peças técnicas, por suportar altas cargas, ter um baixo coeficiente de atrito e alta resistência ao desgaste.

#### 1.2.4 Politetrafluoretileno (PTFE)

Politetrafluoretileno ou também conhecido como Teflon, constituído por Flúor e Carbono (figura 2), é considerado um polímero de alto desempenho. Foi descoberto no ano de 1938 por um químico chamado Roy Plunkett, desde então é utilizado nas indústrias, por ter uma excelente resistência química, antiaderente, incombustível, alta resistência dielétrica, alta resistência ao desgaste e baixo coeficiente de atrito (STRABELLI; et al, 2014).

A maior parte das falhas em componentes mecânicos ocorre em suas partes móveis. Para diminuir os efeitos indesejados do atrito e do desgaste, em muitos casos faz-se uso de lubrificantes nestas regiões. Portanto, componentes mecânicos que dispensem lubrificação e ainda assim garantam condições tribológicas apropriadas despertam grande interesse na indústria. Dentre os polímeros que são utilizados como autolubrificantes, o PTFE apresenta características que indicam que sua utilização em elementos de máquinas pode ser vantajosa, uma vez que sua utilização como componente deslizante não necessita de lubrificação. Contudo, para especificação das condições de trabalho de componentes mecânicos constituídos de PTFE, é fundamental a realização de estudos experimentais (BOUTIN; ROCHA, 2015).

Deste modo sua capacidade de auto-lubrificação permite que o PTFE tenha uma infinidade de aplicações, muitas delas em componentes mecânicos com desgaste reduzido.

PTFE é formado por uma cadeia carbônica completamente rodeada por átomos de flúor, cuja força de ligação entre os átomos de carbono (607 kJ/mol) e entre os átomos de flúor e carbono (552 kJ/mol) são extremamente fortes. O tamanho do átomo de flúor permite uma proteção uniforme e contínua ao redor das ligações carbono-carbono e os protege quimicamente e confere estabilidade à molécula. A proteção dos átomos de flúor também é responsável pela baixa energia de superfície (18 dinas/cm) e baixo coeficiente de atrito (0,05-0,8; estático) do PTFE (BENTO, 2011).

Desta forma, suas propriedades únicas e inigualáveis torna o Politetrafluoretileno uma opção viável para todos os ramos da indústria. Algumas de suas aplicações na área automotiva e elétrica são devido ao seu baixo coeficiente de atrito, boas propriedades mecânicas, alta resistência ao desgaste e baixa constante dielétrica, assim podendo ser usado na vedação para direção hidráulica, anéis de amortecedores, isolamento e revestimento de fios; já nas áreas de processamento químico e construção civil há necessidade de algumas outras

propriedades, como a resistência a chama, resistência química e térmica, assim podendo ser usado para revestimentos, gaxetas, válvulas e coberturas de estádio de futebol; o PTFE vem ganhando muita fama também na área doméstica, no revestimento de panelas, por ser antiaderente e trabalhar em altas temperaturas, mas além dessas há inúmeras aplicações sendo utilizado nas aeronaves modernas, indústrias de petróleo e muitas outras.

### 1.3 AÇO SAE 1020

O aço SAE 1020 ou ABNT 1020 é um aço carbono, basicamente é constituído por ferro, silício, manganês e o carbono, que tem sua parte de 0,20% na composição, e por meio deste é originado seu nome, e algumas de suas propriedades (PATAN, 2018). Devido ser um aço de baixo carbono, possui menor dureza, assim tornando-o um material mais fácil de ser usinado e tendo uma grande variedade de aplicações na indústria da atualidade, e sua grande empregabilidade é o principal motivo da escolha do mesmo.

Os aços-carbono constituem o mais importante grupo de materiais utilizados na engenharia e na indústria. De fato, as propriedades mecânicas desses aços simplesmente ao carbono, sem qualquer elemento de liga, são suficientes para atender a maioria das aplicações práticas. (PANDOLFO, 2009)

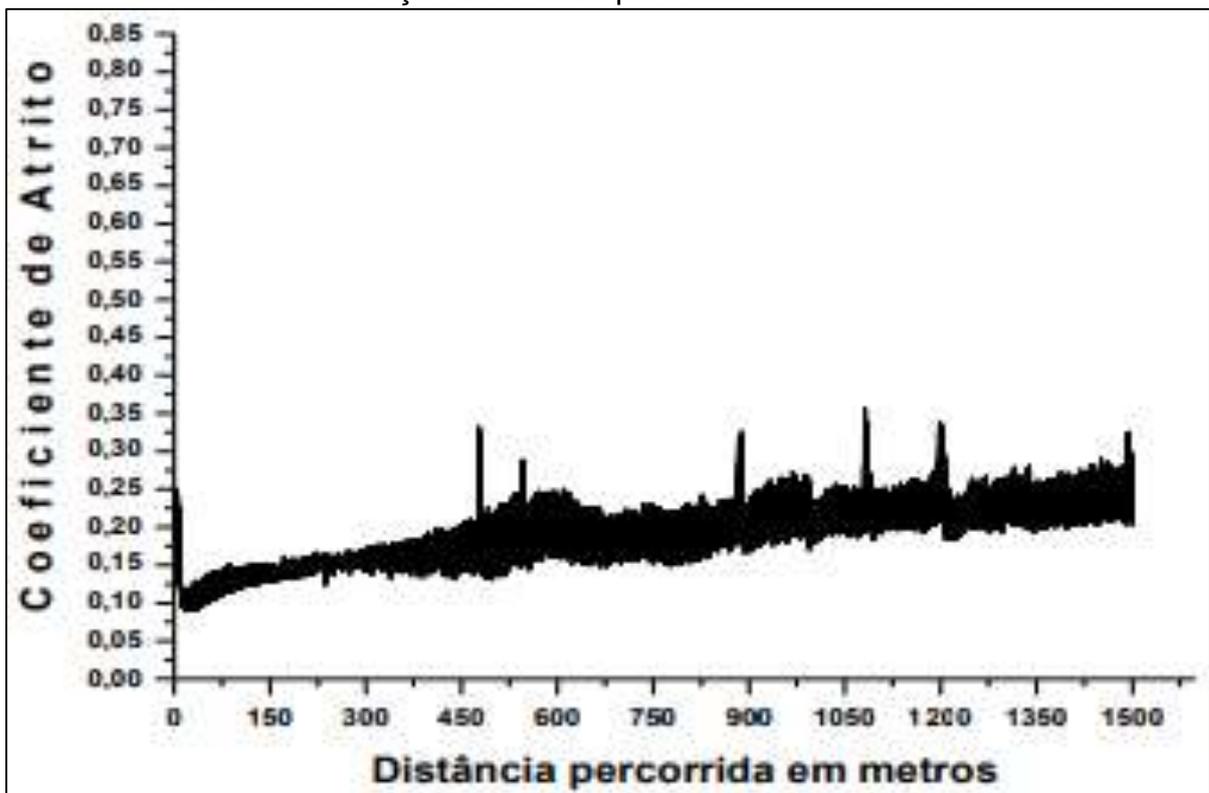
De acordo com Branco (2007 apud FREITAS; et al, 2016) e Drehmer (2013), as aplicações do aço SAE 1020 estão presentes em todas as indústrias, alguns exemplos são indústrias ferroviárias, automobilísticas, navais e aeronáuticas, nelas sendo muito usadas como componentes mecânicos, como eixos, virabrequins, eixo-comando, colunas, engrenagens e muitas outras.

Franco (2014) realizou ensaios de desgaste por deslizamento para avaliação do comportamento tribológico do aço SAE/ABNT 1020. Os testes de desgaste foram realizados de acordo com a norma ASTM G99/95, reprovada em 2010. O contra corpo utilizado nos ensaios foi uma esfera de metal duro (WC-Co) polida, com 6 mm de diâmetro e uma carga aplicada sobre o pino de 10 N. O coeficiente de atrito foi calculado através da medição da força de atrito entre corpo de prova e contra corpo e o desgaste foi avaliado através do volume de material removido, que foi calculado a partir de dados da topografia da superfície. Assim seu coeficiente de atrito

apresentou uma variação de 0,05-0,35, entre 0 a 1500 metros (figura 1). Apresentando também um volume removido de 0,266 mm<sup>3</sup> (figura 2).

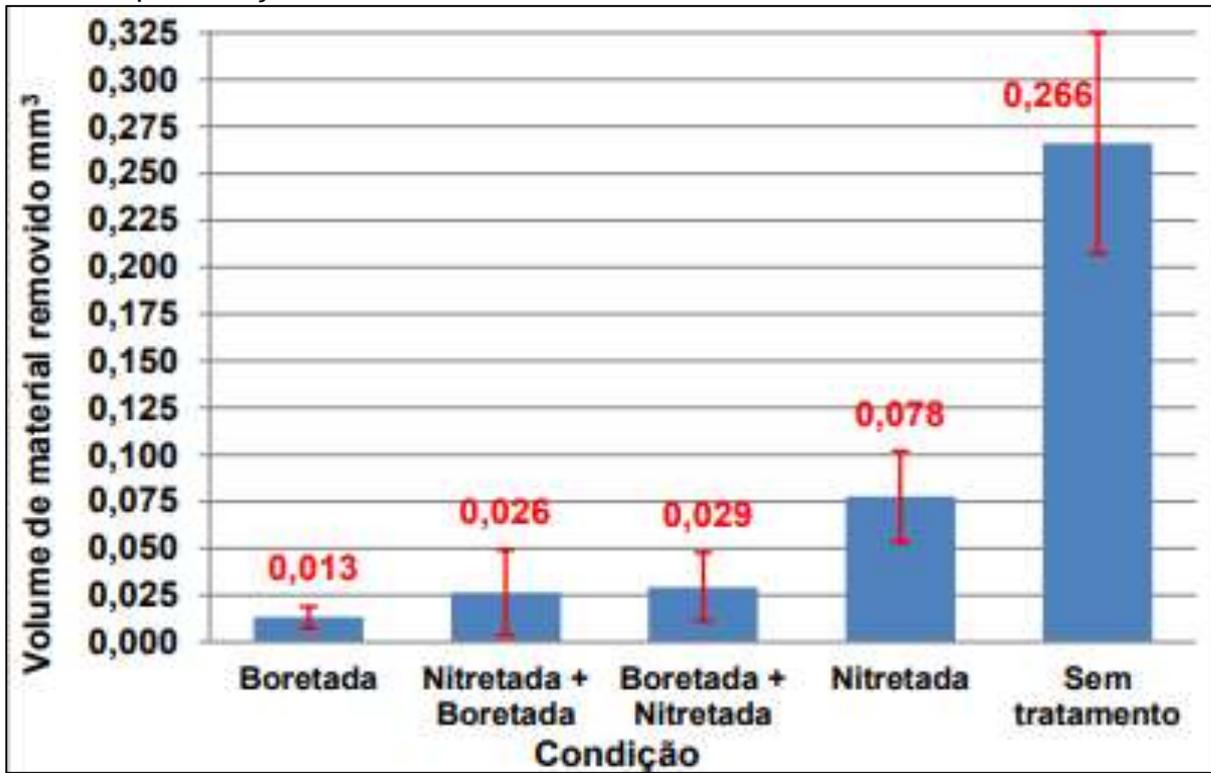
Um dos aços mais comuns utilizado para cementação é o SAE 1020 por possuir excelente plasticidade e soldabilidade e custo benefício menor comparado com aços 1010,1045. (AZEVEDO; FARIAS, 2002)

Figura 1 - Comportamento do coeficiente de atrito durante o ensaio de desgaste por deslizamento no aço ABNT 1020 para uma amostra sem tratamento.



Fonte: FRANCO (2014).

Figura 2 - Volume de material removido nos ensaios de desgaste por deslizamento para o aço ABNT 1020.



Fonte: FRANCO (2014).

## **2 OBJETIVOS**

Esse projeto tem o objetivo de estudar o desgaste dos polímeros poliamida 6, poliamida 6.6, poliuretano e politetrafluoretileno com o atrito entre o aço SAE 1020, assim analisando qual dos materiais desempenha menor atrito e desgaste com o aço escolhido.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Construir um dispositivo para realizar o ensaio de atrito entre os polímeros e o aço SAE 1020.
- Medir e analisar o desgaste desses polímeros após um período definido de tempo do ensaio.
- Medir e analisar o desgaste do aço SAE 1020 após ter sido atritado com cada um dos polímeros por um período definido tempo.

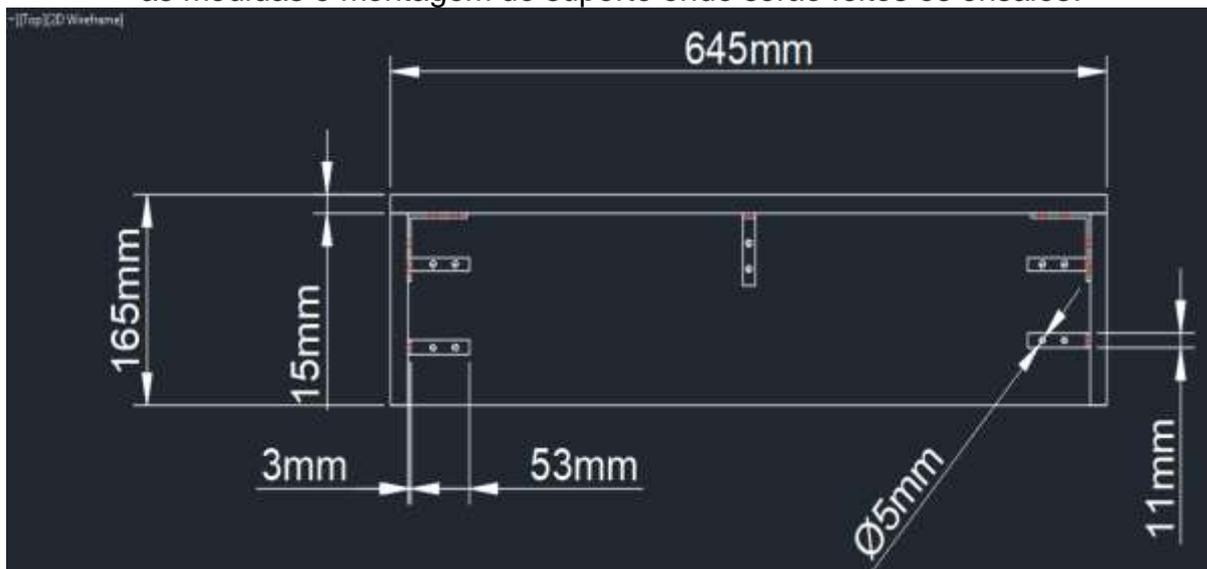
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do projeto, foi feito um levantamento bibliográfico, com a utilização de livros e artigos. Juntamente houve o levantamento dos modelos e ferramentas utilizadas para medição do atrito e desgaste de diferentes materiais.

Uma análise com o motor de ventilador, listado inicialmente no projeto, foi constatado que ele não seria suficiente para suportar o peso dos suportes junto ao atrito dos materiais e manter seu movimento constante. Deste modo foi escolhido um motor elétrico de limpador de para-brisa (12V), por ter uma maior resistência e maior cadência.

Após o levantamento foi iniciado o desenvolvimento do projeto do dispositivo e construção. Utilizando o software AutoCAD 2018 deu-se início ao estudo das proporções e aos desenhos do suporte do dispositivo. Após os desenhos ficarem prontos foram cortadas quatro placas MDF com espessura de 15 mm, sendo uma principal para fixação do motor junto aos demais componentes e ensaio do projeto, já as outras três para sustentação, a figura 3, representa as medidas e montagem do suporte 1, que foram utilizadas nove cantoneiras para unir e fixar as quatro placas.

Figura 3 – Desenho do software AutoCAD 2018, representando a vista frontal com as medidas e montagem do suporte onde serão feitos os ensaios.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo o suporte 1 pronto, foi iniciada a fixação do motor na lateral esquerda, pensando na maior amplitude do movimento. Com auxílio de uma furadeira e broca

de madeira, foi feita a furação, após este passo o motor foi fixado, utilizando três parafusos, seis ruelas e três porcas.

Com o motor fixado foi preciso de uma fonte de alimentação chaveada para conseguir ligá-lo, assim foi utilizada uma fonte de computador que também foi fixada no suporte com a utilização de duas cantoneiras, dois parafusos e duas porcas.

Já fixada a fonte de alimentação, foi necessário fazer algumas adaptações nos fios para o encaixe no motor, deste modo foi utilizado apenas o fio terra e fio de 12V para ligar o motor. Também foram feitas algumas outras mudanças para facilitar o manuseio do protótipo, como adicionar um botão de liga/desliga na fonte de alimentação, que foi fixado na parte lateral do suporte e retirar o conector do cabo de força e fixá-lo na parte traseira do suporte previamente preparado.

Nas figuras 4 e 5 é possível ver as cantoneiras utilizadas para a fixação das placas, a fonte de alimentação e o motor, todos já fixados.

Figura 4 – Vista frontal do suporte, com componentes já fixados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Vista inferior do suporte, com componentes já fixados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido a todos os efeitos que a pandemia trouxe para todo o planeta, muitos materiais e ferramentas ficaram mais difícil de serem encontrados ou foram muito valorizados, deste modo foi necessário fazer algumas alterações nos materiais listados anteriormente no projeto. Assim as chapas poliméricas foram trocadas por tarugos de polímeros e os tarugos de aço SAE 1020, foram trocados por placas do mesmo material. Assim os tarugos de polímeros foram encontrados com medida de 25x300mm (figura 6), com exceção do PTFE que foi encontrado somente com 20mm de diâmetro, com o mesmo comprimento, deste modo, todos os tarugos foram posteriormente cortados, ficando com 50mm de comprimento. Quanto ao aço, foram utilizadas quatro chapas, usando seus dois lados, totalizando oito ensaios, para que não houvesse interferência nos resultados dos diferentes polímeros, e a medida das chapas foram de 550x250mm, visando uma boa amplitude de movimento.

Figura 6 – Polímeros ainda sem serem cortados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa seguinte, já com todas as medidas e os materiais em mãos, foi construído outro suporte (suporte 2) para fixar o movimento e gerar atrito entre as placas de aço e os polímeros. Assim foi construído utilizando um pedaço de madeira, com as proporções de 25x350mm e 5mm de espessura. Também foi utilizado um “pegador” plástico, para fixar os tarugos sob as chapas de aço. Com a utilização da madeira para confecção do suporte 2, foi exercida uma massa de 1290g a 1310g, sob os tarugos (figura 7).

Figura 7 – Utilização de uma balança de precisão para regular a pressão que ficará sobre os tarugos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Junto ao suporte 2 também foi calculada a velocidade e amplitude do movimento, assim obtive-se do motor uma velocidade média de 0,65m/s e uma distância percorrida de 0,65m. Nessas condições, por hora é realizado um movimento de vai e vem de 3600 vezes, percorrendo 2340 metros.

No total foram ensaiados 2 corpos-de-prova de cada polímero, totalizando 8 ensaios. E para cada ensaio um novo corpo-de-prova de aço foi utilizado, totalizando 4 corpos-de-prova, utilizando seus dois lados.

Após as medições e com os suportes já prontos, foram iniciados os ensaios, com cada ensaio tendo a duração de 12h. Deste modo, assim que cada ensaio chegou ao fim, foi realizada uma nova medição, para conferir se houve desgaste dos polímeros.

#### 4 RESULTADOS FINAIS

Com o protótipo já pronto, foi possível dar início aos ensaios, porém, mesmo com as especificações dos fornecedores em mãos, de 25mm e 20mm de diâmetro, foi utilizado um micrometro para obter as medidas exatas de cada polímero, assim foi possível obter o diâmetro exato de cada um dos materiais. Ver medições a seguir:

- Poliamida 6 (figura 8): 25,355mm
- Poliamida 6.6 (figura 9): 25,450mm
- Poliuretano (figura 10): 25,110mm
- Politetrafluoretileno (figura 11): 21,055mm

Figura 8 – Utilização do micrometro, para medição da poliamida 6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 – Utilização do micrometro, para medição da poliamida 6.6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 – Utilização do micrometro, para medição do poliuretano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 – Utilização do micrometro, para medição do politetrafluoretileno



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já com as respectivas dimensões de cada polímero e com todos os suportes já fixados e prontos, foram iniciados os ensaios, todos nas mesmas condições, tanto de clima, quanto de pressão sobre o polímero, tendo uma variação máxima de apenas 20g.

Os ensaios foram iniciados pela poliamida 6, figura 12, que desde o começo apresentou um movimento fluído, não apresentando nenhuma resistência ao movimento. Assim que foram finalizados os dois ensaios, já visualmente foi possível perceber que houve um desgaste mínimo dos dois corpos de prova, o que não é de se surpreender sabendo de todas as propriedades deste material. Deste modo foram obtidos resultados iguais para os dois ensaios, medidos com um micrometro de 0,01mm de precisão.

Figura 12 – Primeiro ensaio utilizando a poliamida 6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo em seguida foram iniciados os ensaios com a poliamida 6.6, figura 13, onde também não apresentou nenhuma resistência ao movimento. E ao fim dos dois ensaios, por se tratar do polímero mais resistente e duro, entre os quatro estudados, não era nem mesmo perceptível que havia algum desgaste em ambos os corpos de prova. Que também foi medido em um micrometro de 0,01mm de precisão.

Figura 13 – Primeiro ensaio utilizando a poliamida 6.6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as poliamidas foram iniciados os ensaios com o poliuretano, figura 14, o que se tornou os dois ensaios mais difíceis e com menor precisão, devido ao Pu ser mais flexível e conter menos propriedades, que os demais polímeros, ofereceu certa resistência ao movimento, assim o primeiro ensaio teve um desgaste maior, que o segundo, apesar de ambos terem sido feitos nas mesmas condições.

Figura 14 – Primeiro ensaio utilizando o poliuretano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim foram iniciados os ensaios com o PTFE, e estes foram os mais surpreendentes, devido a manter o movimento mais fluído e também a este material ter sido o que sofreu o maior desgaste entre todos os polímeros estudados. Mesmo enquanto estava em movimento já era possível observar que o material havia tido um desgaste muito superior aos demais, assim ficando com pequenos resíduos ao lado de onde o corpo de prova passava, como mostra a (figura 15).

Figura 15 – Primeiro ensaio utilizando o politetrafluoretileno



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com todos os ensaios concluídos, antes mesmo de retirar as medidas, já foi possível notar que todos os polímeros tiveram desgastes (figura 16), o que foi posteriormente confirmado, utilizando o mesmo instrumento de medição, devidamente calibrado.

Figura 16 – Polímeros utilizados no primeiro ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro ensaio foram obtidos os resultados:

- Poliamida 6: 25,300mm
- Poliamida 6.6: 25,370mm
- Poliuretano: 25,035mm
- Politetrafluoretileno: 20,410mm

No segundo ensaio foram obtidos os resultados:

- Poliamida 6: 25,315mm
- Poliamida 6.6: 25,410mm
- Poliuretano: 25,080mm
- Politetrafluoretileno: 20,350mm

Deste modo, já com todos os resultados em mãos, fica claro os polímeros que tiveram menor desgaste, assim, de todos os materiais ensaiados, o que teve o menor desgaste foi a poliamida 6, em segundo a poliamida 6.6, em terceiro o poliuretano. Por ultimo, ficou o politetrafluoretileno que apresentou o maior desgaste, alcançando valores 10 vezes maior que os demais polímeros. Como pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados sobre os valores obtidos dos ensaios

	<b>Valor Inicial</b>	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>	<b>Desgaste Ensaio 1</b>	<b>Desgaste Ensaio 2</b>
<b>Poliamida 6</b>	25,355	25,300	25,315	0,055	0,040
<b>Poliamida 6.6</b>	25,450	25,370	25,410	0,080	0,040
<b>Poliuretano</b>	25,110	25,035	25,050	0,075	0,060
<b>Politetrafluoretileno</b>	21,055	20,410	20,350	0,645	0,705

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Já ao primeiro contato com cada polímero, foi possível sentir a qualidade de cada material, sendo a poliamida 6, o que possui a menor massa, a poliamida 6.6, o que possui mais fibras, o poliuretano, o que possui a maior flexibilidade, por fim, o politetrafluoretileno, que foi o material que possui a maior massa, apesar de ser o de menor diâmetro.

De todos os ensaios, o que mais surpreendeu foi o com a utilização do politetrafluoretileno, que apesar de ter demonstrado uma melhor fluidez no movimento, foi o que sofreu o maior desgaste.

Apesar de todos os desafios encontrados na atualidade, todos os ensaios foram finalizados com êxito, assim concluindo a proposta inicial do projeto e obtendo um resultado satisfatório.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

Em virtude de todos os fatos mencionados, é possível notar que na atualidade existe uma vasta utilização de diferentes tipos de plásticos de engenharia, onde, cada um deles possuem diferentes características e propriedades. Nesta pesquisa, foram estudados quatro tipos de polímeros, são eles, a poliamida 6, a poliamida 6.6, o poliuretano e o politetrafluoretileno. Também foi escolhido o aço SAE 1020 para os testes, devido a este, ter uma grande empregabilidade nos diferentes tipos de indústrias e no dia a dia.

Após o levantamento de dados e propriedades de cada um dos materiais, foram iniciados os ensaios, assim, gerando também expectativas da resistência de cada um.

Com a conclusão de cada ensaio, e utilização de ferramentas de medição, foi possível constatar que no primeiro ensaio o polímero que sofreu menor desgaste após as 12h, foi a poliamida 6. Já no segundo ensaio a poliamida 6 e a poliamida 6.6 tiveram resultados iguais, sendo os dois polímeros que tiveram melhor desempenho.

É possível ainda, verificar inúmeras outras características e propriedades, destes materiais, para que assim as propriedades destes materiais fiquem evidentes, na escolha de cada um, para a aplicação destinada.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, Fabio G.; et al. **Estudo do Envelhecimento de Poliuretanos Aplicados na Indústria de Petróleo**. www.scielo.br, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/po/v20n1/aop\\_pol\\_0484.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v20n1/aop_pol_0484.pdf)> - Acesso em: 06 mar. 2020.
- ARAÚJO, Rogério G.. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MICRO E MACROSCÓPICAS DE BLENDS DE POLIAMIDA 4,6/POLIAMIDA 6**. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 7, 2002.
- BENTO, Ronaldo E. **Estudo do comportamento de Resina Base na Formulação de compósitos de Politetrafluoretileno com Bronze**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 11, 2011.
- BOUTIN, Felipe F.; ROCHA, Lucas P. C. **Avaliação do comportamento tribológico do politetrafluoretileno contra aço inoxidável sem lubrificação em ensaio pino sobre disco**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 15-16, 2015.
- CANGEMI, José M.; et al. **Poliuretano: De Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil**. www.qnesc.s bq.org.br, 2009. Disponível em: <[http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc31\\_3/02-QS-3608.pdf](http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc31_3/02-QS-3608.pdf)> - Acesso em: 06 mar. 2020.
- CORDEBELLO, Fátima S.. Destaques do parque industrial de Polímeros do Brasil. **Polímeros**, São Carlos , v. 9, n. 1, p. 7-24, 1999 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14281999000100003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281999000100003&lng=pt&nrm=iso)>.- Acesso em 06 mar. 2020.
- FACTORI, Irina M. **PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS DE POLIAMIDA 6.6 REFORÇADA COM PARTÍCULAS DE VIDRO RECICLADO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 9-11, 2009.
- FERRO, Waldir. **Uso da Casca de Arroz como Carga em matrizes de Poliamida 6 e poliamida 6.6**. www.scielo.br, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v17n3/10.pdf>> - Acesso em: 06 mar. 2020.
- FRANCO, Claudinei J. **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DOS AÇOS ABNT 1020 E 1045 SUBMETIDOS A TRATAMENTOS TERMOQUÍMICOS SÓLIDOS**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, p. 82-134, 2014.
- Freitas, Bruno M.; et al. **MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1020 EM DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS**. www.confea.org.br, 2016. Disponível em: <<http://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/mecanica/microestrutura%20e%20microdureza%20do%20a%C3>

%A7o%20sae%201020%20em%20diferentes%20tratamentos%20t%C3%A9rnicos.pdf> - Acesso em: 07 mar. 2020.

GOMES, Gecimar. **A ABORDAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA SOBRE A COMBUSTÃO DOS POLÍMEROS E A QUESTÃO AMBIENTAL.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciamento em Química) – Instituto de Química da Universidade de Brasília. Brasília, p. 14 e 15, 2013.

ISHIDA, Mateus B.; BEÊ, Matheus T. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE POLÍMEROS DE ENGENHARIA EM DESLIZAMENTO SEM LUBRIFICAÇÃO CONTRA AÇO INOXIDÁVEL.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 9-10, 2015.

MANO, Eloisa B.. **POLÍMEROS COMO MATERIAIS DE ENGENHARIA.** 8 ed. São Paulo: Blucher, 2019.

PANDOLFO, Diogo. **ESTUDO DA TENACIDADE AO IMPACTO DE UM AÇO SAE 1020 SUBMETIDO A TRATAMENTOS TÉRMICOS.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 17, 2009.

PIATTI, Tania M.; Rodrigues, Reinaldo A. F. **Plásticos: características, uso, produção e impactos ambientais.** www.usinaciencia.ufal.br, 2005. Disponível em: <[http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos\\_caracteristicas\\_usos\\_producao\\_e\\_impactos\\_ambientais.pdf](http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf)> - Acesso em: 06 mar. 2020.

PEREIRA, Francisco. **POLÍMEROS FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS.** Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2009.

SANTOS, Fábio C. **Otimização de Poliuretanos para Protetores de Linhas Flexíveis Sujeitos ao Desgaste Abrasivo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 13, 2007.

SANTOS, Fábio C. **DETERMINAÇÃO DE ESPESSURA DE CAMADAS DURAS EM AÇOS POR TÉCNICAS MAGNÉTICAS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2013.

STRABELLI, Patricia G.; et al. **Influência de Variáveis de Sinterização na Microestrutura de Peças de PTFE Moldadas por Prensagem Isostática.** www.scielo.br, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/po/v24n5/aop\\_polimeros\\_1660.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v24n5/aop_polimeros_1660.pdf)> - Acesso em: 06 mar. 2020.

KARAK, N. **Fundamentals of Polymers: Raw Materials to Finish Products.** PHI Learning Pvt Ltd; 2009

GROPPER, D .; WANG, L .; HARVEY, TJ **Lubrificação hidrodinâmica de superfícies texturizadas: uma revisão das técnicas de modelagem e principais descobertas.** *Tribol. Int.* **2016** , 94 , 509-529.

A.G.G. de Azevedo, J.P. Farias, **Aplicação da Técnica da Dupla Camada na Soldagem do Aço**, 108 (2002)