



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

ANTONIO VINICIUS CARVALHO DOS SANTOS

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ÓLEOS VEGETAIS NA LUBRIFICAÇÃO DE
CORRENTES DE TRANSMISSÃO DE BICICLETAS**

SÃO LUÍS/MA

2021

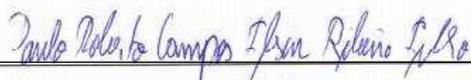
ANTONIO VINICIUS CARVALHO DOS SANTOS

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ÓLEOS VEGETAIS NA LUBRIFICAÇÃO DE
CORRENTES DE TRANSMISSÃO DE BICICLETAS**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO ANTONIO VINICIUS CARVALHO DOS SANTOS E ORIENTADO PELO PROF. ME. PAULO ROBERTO CAMPOS FLEXA RIBEIRO FILHO.



ASSINATURA DO ORIENTADOR

SÃO LUIS/MA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL – UEMA

Santos, Antônio Vinicius Carvalho dos.

Estudo do desempenho de óleos vegetais na lubrificação de correntes de transmissão de bicicletas / Antônio Vinicius Carvalho dos Santos. – São Luís, 2021.

... 61

TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho.

1.Andiroba. 2.Babaçu. 3.Aparato experimental. I.Título.

CDU: 621.85.055-72

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

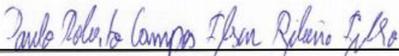
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ÓLEOS VEGETAIS NA LUBRIFICAÇÃO DE
CORRENTES DE TRANSMISSÃO DE BICICLETAS**

Autor: Antonio Vinicius Carvalho dos Santos

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:



Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Me. Diego Rosa Santos
Instituição: Universidade CEUMA



Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 06 de dezembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia em especial a minha avó, Nerci Alves Carvalho, que nunca mediu esforços para me ver bem em todos sentidos, e a meu avô, José Moreira Carvalho, que sempre esteve do meu lado e foi exemplo do melhor pai que eu poderia ter, este se orgulharia muito desse sonho que está se concretizando, apesar de não mais se fazer de forma presente nessa vida, porém sempre estará presente em meu coração.

Dedico também a minha mãe, Francisca Alves Carvalho, que apesar de todas as dificuldades enfrentadas por ela, sempre fez o possível para não me desamparar. Não poderia deixar de forma alguma de dedicar esse trabalho de conclusão as minhas tias, Gilcilene Alves Carvalho, Gilcélia Alves Carvalho e a Gilsônia Alves Carvalho que sempre fizeram o papel de “segunda mãe” em minha vida. Dedico também a minha namorada, Mayra, que sempre me apoiou durante o curso.

Em geral, dedico a todos que acreditaram e torceram por mim nessa jornada acadêmica, aos amigos adquiridos no curso, muito obrigado, vocês foram essenciais nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos os professores da universidade no qual tive contato durante o curso, seja em aulas, ou no meio acadêmico. Em especial, agradeço ao Prof. Paulo Flexa, que foi um grande exemplo de pessoa e de profissional na minha vida, e sempre esteve disposto a me ajudar e a passar todo conhecimento que obtenha, além de tudo, permitiu minha participação em iniciações científicas e projeto de extensão, e devido todo o apoio dado por ele, fomos premiados pela 11º JOEX.

Os agradecimentos vão também aos integrantes do LABLUB e do projeto especial Bumba meu baja, que se sempre me deram apoio e sempre proporcionaram grandes experiências.

Agradeço também aos professores, Carlos Ronyelton e Maria Amália, que foram grandes exemplos também, e sempre deram apoio a todos.

A todos os amigos adquiridos durante essa jornada acadêmica, não poderia deixar um agradecimento especial aos amigos, Marcos Erike, Marcus Vinicius e Matheus Melo pois, estes compartilharam seus conhecimentos que foram fundamentais para conclusão desse trabalho, e durante toda jornada do curso.

Por fim, gostaria de agradecer a toda UEMA, por toda educação de qualidade proporcionada no curso de Engenharia Mecânica.

RESUMO

Buscando minimizar os efeitos ambientais causados pelos derivados do petróleo, o trabalho busca contribuir com uma parcela, na redução dos impactos provocados pelos óleos lubrificantes de base mineral, com foco nas oficinas mecânicas de bicicletas. Para substituição dos óleos de base mineral por óleos vegetais, é necessário o conhecimento das propriedades físico-químicas e do comportamento do lubrificante no sistema em que irá trabalhar, que nesse caso, se trata do sistema de transmissão por correntes. Foram selecionados o óleo de babaçu (*Attalea speciosa*) e óleo de Andiroba (*Carapa guianensis*), em seguida realizado ensaios de densidade, viscosidade e ponto fulgor no LABLUB (Laboratório de Lubrificação – UEMA), além dos ensaios de desgaste por perda de massa e oxidação nas correntes com os respectivos óleos ensaiados, através de um aparato experimental. A densidade a 40°C divergiu em 42 e 11 (Kg/m³) para o óleo de Andiroba e Babaçu, respectivamente, em relação ao óleo 20w50. Na viscosidade cinemática a 40 e 100 °C (cSt) os óleos de Andiroba e Babaçu obtiveram resultados aproximados, porém divergiram em 139,1 e 145,2 (cSt) a 40°C, e 5,68 e 9,86 (cSt) a 100°C, em relação ao óleo 20w50. O ponto de fulgor dos óleos vegetais ensaiados apresentou valor maior que 200°C. Nos ensaios de desgaste, a maior perda de massa foi de 0,25% na corrente lubrificada com o óleo de babaçu, seguido de 0,18% com o óleo de Andiroba e 0,14% com o óleo 20w50. Por métodos visuais, a corrente lubrificada com óleo de Andiroba, foi a que sofreu um grau de oxidação maior, seguida do Babaçu e 20w50.

Palavras-chaves: Andiroba, Babaçu, Aparato experimental

ABSTRACT

Seeking to minimize the environmental effects caused by petroleum derivatives, this study seeks to contribute to reducing the impacts caused by mineral-based lubricating oils, with a focus on bicycle repair shops. To replace mineral-based oils with vegetable oils, it is necessary to know the physical-chemical properties and the behavior of the lubricant in the system in which it will work, which in this case is the chain transmission system. Babassu oil (*Attalea speciosa*) and Andiroba oil (*Carapa guianensis*) were selected, and then density, viscosity and flash point tests were conducted at LABLUB (Lubrication Laboratory - UEMA), in addition to wear tests by loss of mass and oxidation on the chains with the respective oils tested, through an experimental apparatus. The density at 40°C differed by 42 and 11 (Kg/m³) for Andiroba and Babaçu oils, respectively, compared to 20w50. The kinematic viscosity at 40 and 100°C (cSt) results for Andiroba and Babassu were similar, but differed by 139.1 and 145.2 (cSt) at 40°C, and 5.68 and 9.86 (cSt) at 100°C, compared to 20w50. The flash point of the vegetable oils tested had a value higher than 200°C. In the wear tests, the greatest mass loss was 0.25% in the chain lubricated with babassu oil, followed by 0.18% with Andiroba oil and 0.14% with 20w50 oil. By visual methods, the chain lubricated with Andiroba oil suffered the greatest degree of oxidation, followed by Babaçu and 20w50.

Keywords: Andiroba, Babassu, Experimental set up

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Descarte e armazenamento incorreto de lubrificantes minerais usados	2
Figura 1.2 - Locais de armazenamento e destino final dos óleos lubrificantes e graxas nas oficinas mecânicas da cidade de Caraúbas-RN	3
Figura 2.1 - Representação das forças e contato de superfícies em um corpo	5
Figura 2.2 - Gráfico das forças atuantes no corpo	6
Figura 2.3 - Tipos de contato entre as superfícies que ocasionam desgaste.....	7
Figura 2.5 - Principais cadeias de óleos minerais e suas funções.....	10
Figura 2.6 - Representação do esquema de uma camada de fluido entre superfícies.....	12
Figura 2.7 - Exemplo de transmissão por (a) corrente, (b) correia e (c) eixo cardã.....	14
Figura 2.8 - Componentes de uma corrente de rolete.....	15
Figura 2.9 - Tipos de lubrificação: a) Manual; b) Gotejamento; c) Banho de óleo.....	16
Figura 2.10 - Representação dos dados de um sistema de transmissão por corrente	17
Figura 2.11 - Esquema dinamométrico para medição de rendimento do sistema	18
Figura 2.12 - Desenho tridimensional da bancada desenvolvida (KICH, 2011).....	19
Figura 3.1 - Balança de precisão e Erlenmeyer.	20
Figura 3.2 - Viscosímetro digital de modelo (MVD-5).....	21
Figura 3.3 - Agitador magnético: 1 - Medidor de temperatura; 2 - Recipiente com ímã de agitação.....	21
Figura 3.4 – Ensaio de ponto de fulgor utilizando vaso aberto de Cleveland.	22
Figura 3.5 - Montagem da bancada em CAD.....	23
Tabela 3.1 - Materiais utilizados na construção da bancada.	24
Figura 3.6 - Montagem do circuito: A) Protoboard; B) Placa Arduino; C) Módulos hx711; D) Balanças.....	25
Figura 3.7 - Detalhamento do circuito: A) Portas de entrada do módulo hx711; B) Portas de saída de dados do módulo hx711; C) Portas digitais e de alimentação da placa Arduino; D) Entrada de aterramento (GND).....	26
Figura 3.8 - Aferição dos ângulos: A) Motor DC 24V (Freio eletromagnético); B) Motor trifásico 1CV.	26
Figura 3.9 - Eixo do motor acoplado ao rolamento.....	27
Figura 3.10 - Suporte para reservatório do lubrificante e mangueira com o controlador de vazão.	27

Figura 3.11 - Amostras dos óleos em estudo: 1) Óleo de Andiroba; 2) Óleo de Babaçu e 3) Óleo de base mineral 20w50.	28
Figura 3.12 - Correntes de transmissão de bicicletas sendo identificadas para acompanhamento dos testes.....	28
Figura 3.13 - Correntes expostas ao ar livre.....	29
Figura 5.1 - Bancada em funcionamento: 1 - Inversor de frequência; 2 – Motor 1 cv; 3 – Balanças; 4 – Reservatório com controle de vazão; 5 – Circuito; 6 – Freio eletromagnético (motor DC 24v); 7 – Recipiente do óleo (canaleta).....	33
Figura 5.2 - Gráfico comparativo de rendimento do sistema nos testes.....	34
Figura 5.3 - Correntes oxidadas após 10 dias de exposição ao ambiente.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Fórmula estrutural e ponto de fusão dos ácidos graxos (MATOS, 2011).....	9
Tabela 2.2 - Funções e esforços dos componentes das correntes de rolos.....	16
Tabela 3.1 - Materiais utilizados na construção da bancada.	24
Tabela 5.1 - Valores das densidades (Kg/m ³) nos óleos em análise.....	30
Tabela 5.2 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Babaçu a 40°C.	30
Tabela 5.3 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Babaçu a 100°C.	31
Tabela 5.4 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Andiroba a 40°C.	31
Tabela 5.5 – Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo de Andiroba a 100°C.....	32
Tabela 5.6 - Viscosidade do óleo de Andiroba e Babaçu.....	32
Tabela 5.7 - Testes de ponto de fulgor e combustão.	32
Tabela 5.8 - Perda de massa nas correntes lubrificadas com os respectivos óleos.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
h	Altura
α	Ângulo entre o braço e a balança do motor
γ_c	Ângulo de articulação da coroa
γ_p	Ângulo de articulação do pião
μ_{at}	Coefficiente de atrito
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
μ_e	Coefficiente de atrito estático
μ_k	Coefficiente de atrito cinemático
cP	CentiPoise
cSt	CentiStoke
cv	Cavalo-vapor
d	Distância do braço
C_m	Distância entre os eixos dos motores
dc	Diâmetro da coroa
dp	Diâmetro do pião
dpc	Diâmetro primitivo da coroa
dpp	Diâmetro primitivo do pião
MG	Estado de Minas Gerais
SP	Estado de São Paulo
f_{at}	Força de atrito
F_n	Força normal
f_s	Força de atrito estática;
f_k	Força de atrito cinemática
$f_{m\acute{a}x}$	Força máxima de atrito
°C	Grau Celsius
g	Gramas
GND	Graduated Neutral Density filter
Hz	Hertz
LABLUB	Laboratório de lubrificação da UEMA

m	Massa
ml	Mililitro
ρ	Massa específica
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
MIG	Metal Inert Gas
mm^2	Milímetro quadrado
n°	Número
Z_c	Número de dentes na coroa;
Z_p	Número de dentes no pião
P_1	Potência no motor de 1cv
P_2	Potência no motor DC 24v
Pa	Pascal
i	Relação de transmissão
RPM	Rotações por minuto
η	Rendimento
S.I.	Sistema Internacional de Unidades
s	Segundo
τ	Tensão de cisalhamento
T	Torque
μ	Viscosidade dinâmica
u	Velocidade
v	Viscosidade cinemática
w	Velocidade angular
V	Volume
Kg	Quilograma

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	3
1.2. Objetivo geral	4
1.3. Objetivos específicos	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Tribologia	5
2.2. Lubrificação	8
2.3. Propriedades dos lubrificantes	9
2.3.1. ÓLEOS VEGETAIS	9
2.3.3. ÓLEOS SINTÉTICOS	11
2.3.4. PROPRIEDADES FÍSICAS	11
2.4. Sistemas de transmissão	13
2.4.1. CORRENTES	14
2.4.2. LUBRIFICAÇÃO NAS CORRENTES	16
2.5. Bancada dinamométrica	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Caracterização dos lubrificantes	20
3.3. Procedimentos para teste dos óleos na bancada	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Propriedades físico-químicas dos lubrificantes	30
4.2. Testes na bancada dinamométrica	33
5. CONCLUSÃO	36
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	37
REFERÊNCIAS	38
ANEXO A – Informações técnicas do viscosímetro digital (MVD-5)	43

ANEXO B – Boletim técnico do óleo 20w50 utilizado.....	44
APÊNDICE A – Compilação do código para atuação no circuito.....	45

1. INTRODUÇÃO

A terra com seus diversos tipos de microrganismos, plantas e animais, tiveram alta mortalidade durante a separação dos continentes e entraram em decomposição dando origem a grandes volumes de lodo preto formado por hidrocarbonetos e outros compostos de formação do petróleo, geralmente ocorriam em regiões de baixas altitudes, onde acumulavam diversas camadas de rochas sedimentares formadas pelo processo de erosão. Todo esse processo levou a formação de grandes reservas de petróleo na terra (PIMENTEL, 2011).

Com a descoberta dessas bacias de petróleo se revolucionou o modo de obtenção de energia para diversas atividades, e o tornou indispensável no dia a dia. Com isso a produção desenfreada de combustíveis e produtos a partir do petróleo foi se tornando maior conforme foram aumentando o número de veículos, máquinas e outras atividades em dependência desse recurso. O aumento significativo do consumo de derivados dessa matéria prima tem sido uma das principais pautas de discussão em relação a contribuição com a degradação do meio ambiente, pois se trata de um recurso que tem grande potencial de causar impactos ambientais (MARTINS, 2015). Porém, a comodidade adquirida através da produção dos combustíveis fósseis faz com que torne mais difícil a redução do consumo por grande parte da população.

Com a alta demanda por derivados do petróleo, conseqüentemente, as indústrias petrolíferas aumentam sua produção. O processo de produção inicia com a extração do petróleo cru, onde é necessário refiná-lo através das torres de destilação, e são obtidos diversos produtos com alto valor de mercado. Dentre esses produtos o grupo de óleos lubrificantes é o primeiro subproduto produzido depois da fração mais pesada (resíduo para formação de asfalto). Os lubrificantes possuem a sua formação de hidrocarbonetos com a condensação em torno de 400°C, estes após seu processamento por completo possuem diversas funções e são utilizados geralmente entre superfícies metálicas em movimento, formando uma camada ou película que busca evitar o contato entre as superfícies, e por conseqüência, o desgaste (D'ALMEIDA, 2015).

Os lubrificantes minerais são um dos poucos produtos provenientes do petróleo que não são consumidos inteiramente em sua utilização. Geralmente eles possuem em sua composição, aditivos químicos que elevam o grau de danos ao meio ambiente quando utilizados em sistemas de lubrificação aberta, e quando tem o seu descarte de forma incorreta. Esse cenário de contribuição à degradação do meio ambiente é comum observar nas oficinas mecânicas, onde geram esses tipos de resíduos e são reutilizados ou descartados de forma incorreta. Segundo

estudos recentes, um litro de óleo lubrificante tem potencial para contaminar até um milhão de litros de água potável (VIVEIROS, 2000).



Figura 1.1 - Descarte e armazenamento incorreto de lubrificantes minerais usados

Fonte: (José Vianna, 2018).

A figura 1.1 apresenta alguns reservatórios de óleos lubrificantes descartados de forma incorreta por empresas do setor de “rerrefino” de óleo mineral. Com o aumento significativo da produção de lubrificantes, a indústria de reciclagem tende a aumentar de forma paralela, o que gera inviabilidade da fiscalização assegurar que todas as oficinas realizem descarte e armazenamento correto. Apesar de ser proibido quaisquer descartes de óleos usados ou contaminados em solos, subsolos, nas águas interiores, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e nos sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais, conforme resolução do CONAMA nº 362/2005 (LUCAS FILHO, 2019).

O descarte de óleo usado exige uma atenção especial, devido sua capacidade de contaminação ser elevada. Para MARTINS (2005) essa situação é agravante, pois o lubrificante nesse estado de uso, considerando o contato com partes componentes de motores e engrenagens, tem seu potencial de gerar problemas ambientais ampliados.

Uma pesquisa realizada por LUCAS FILHO (2019) em alguns bairros da cidade de Caraúbas-RN, mostram o destino final de óleos lubrificantes e graxas em algumas oficinas.

Resíduos das Oficinas Mecânicas (Óleos Lubrificantes e Graxas)				
Bairros da Cidade de Caraúbas				
	Alto de São Severino	Leandro Bezerra	Sebastião Maltez	Centro
Local de armazenamento	100,00% quintal das oficinas	66,70% dentro das oficinas	100,00% dentro das oficinas	83,30% dentro das oficinas
		33,30% no quintal das oficinas		16,70% no quintal das oficinas
Destino final	100,00% vendido	100,00% vendido	50,00% vendido	100,00% vendido
			50,00% outro destino	

Figura 1.2 - Locais de armazenamento e destino final dos óleos lubrificantes e graxas nas oficinas mecânicas da cidade de Caraúbas-RN

Fonte: (LUCAS FILHO, 2019).

Em sua pesquisa, ele notou que todos os locais de armazenamento estavam incorretos, ou seja, em ambientes que facilitam a deterioração do recipiente, ocasionando um possível vazamento do fluido contaminado para o ambiente.

Além dos lubrificantes minerais serem prejudiciais ao meio, não são renováveis, então o consumo de forma elevada, certamente levará ao esgotamento das fontes de extração dessa matéria prima.

1.1. Justificativa

Assim, uma alternativa para o processo de lubrificação nesses sistemas em questão, são os biolubrificantes por serem óleos provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis para o ambiente. O desenvolvimento desses biolubrificantes vem aumentando com intuito de substituírem os óleos minerais e sintéticos utilizados na lubrificação de sistemas mecânicos, como alternativa sustentável, geralmente são a base de óleos vegetais que, por sua vez, representam uma das fontes renováveis mais promissoras para obtenção de combustíveis líquidos e lubrificantes (CORDEIRO, 2020).

Na maioria dos casos, os óleos vegetais podem servir como lubrificantes desde que apresentem características físico-químicas bem definidas (RIBEIRO FILHO, 2016). Dessa forma, para utilização de óleos biodegradáveis em determinado sistema é necessário estudos

que indicam a viabilidade do uso desse tipo de lubrificante. Assim, é fundamental desenvolver uma metodologia em conformidade com o modo de trabalho do lubrificante no sistema que será aplicado, para validação dos testes que serão realizados. Para a lubrificação de correntes de bicicletas são usados lubrificantes específicos, porém na maioria das oficinas mecânicas de comunidades é comum visualizar a lubrificação de correntes sendo realizada com óleo usado.

Nesse sentido, visando reduzir os impactos ambientais causados pelo uso de lubrificantes minerais em oficinas mecânicas de bicicletas, esse estudo busca viabilizar o uso de óleo vegetal como lubrificante para sistema aberto, em especial, correntes de transmissão de bicicletas, através de testes realizados em um aparato experimental projetado especificamente para simulação do funcionamento de lubrificação, além dos ensaios laboratoriais para definição de propriedades do lubrificante em estudo.

1.2. Objetivo geral

Caracterizar as propriedades físico-químicas de óleos vegetais e desenvolver um aparato experimental para ensaios de lubrificação em sistemas mecânicos de transmissão por corrente.

1.3. Objetivos específicos

- I. Dimensionar e construir um aparato experimental do funcionamento de transmissão por corrente de bicicletas, para observação de rendimento com óleos diferentes;
- II. Caracterizar as propriedades físico-químicas dos óleos de Babaçu e Andiroba para comparação com óleos minerais;
- III. Verificar a capacidade de proteção à oxidação dos óleos em relação as correntes de transmissão;
- IV. Comparar o desgaste das correntes lubrificadas após os ensaios em aparato experimental;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Tribologia

Desde os primórdios, quando o homem começou a utilizar máquinas, mesmo que rudimentares, era realizada a lubrificação das partes móveis com sebo de animais, de forma manual (PETRONAS, 2018). Todo esse conhecimento, antecede o início da ciência aplicada a estudos de superfície. Em 1966 a tribologia é definida como uma ciência e tecnologia que lida com assuntos associados à interação entre superfícies em contato e movimento relativo, agregando os estudos sobre atrito, desgaste e lubrificação (GIACOMELLI, 2020 apud. JOST, 2006). Atualmente as formas de lubrificação e os lubrificantes são utilizadas de forma mais precisa, com especificações e controle de aplicação, afim de se obter um rendimento maior.

A lubrificação que tem como intuito principal a redução da resistência ao movimento, pode ser afetada também por conta da rugosidade (CARPINETTI, 1996). A rugosidade é a medida de variação do relevo de uma superfície, que é gerada pelos picos e vales desta, e influencia diretamente no atrito que é gerado pelo contato direto de peças (engrenagens, mancais, rolamentos, correntes, dentre outros elementos de máquinas).

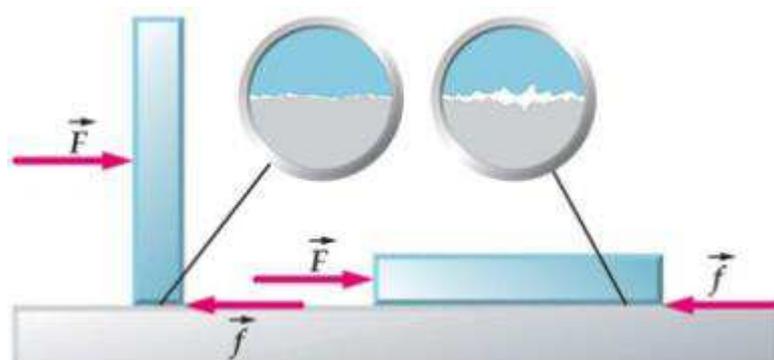


Figura 2.1 - Representação das forças e contato de superfícies em um corpo

Fonte: (TANNÚS, Alberto, 2014).

Conforme a ampliação no contato entre os corpos na figura 2.1, é possível notar os picos e vales, que conforme o tamanho desses, é definida a rugosidade na superfície, que por sua vez, tem grande influência no coeficiente de atrito. A área de aplicação da força na superfície não influencia a força de atrito (f_{at}), porém aumenta o desgaste, devido os picos e vales estarem mais próximos.

$$fat = \mu at . Fn \quad (2.1)$$

A força de atrito (fat) é um fator dependente do coeficiente de atrito (μat) e das forças normais impostas sobre o corpo em estudo (Fn).

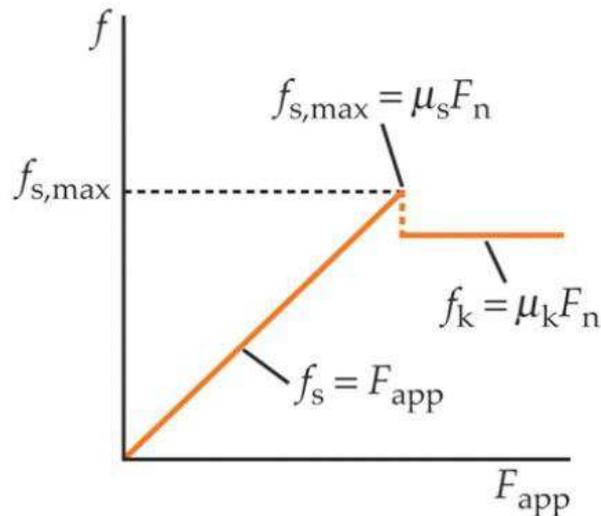


Figura 2.2 - Gráfico das forças atuantes no corpo

Fonte: (TANNÚS, Alberto, 2014).

A força de atrito estática (f_s) é sempre maior, pois ela retira o corpo do repouso, já a força de atrito cinemática ou dinâmica (f_k) que mantém o corpo em movimento. Isso explica o fato da força máxima ($f_{máx}$) está sempre vinculada a força de atrito estático. Conseqüentemente o coeficiente de atrito estático (μ_e) é maior do que o coeficiente de atrito dinâmico (μ_k), conforme o gráfico da figura 2.2 (JÚNIOR JOAB, 2021).

Para a UNIVERSAL LUBRIFICANTES (2018) atrito pode ser classificado como:

Atrito de rolamento: É o atrito que ocorre entre superfícies que não escorregam, ou seja, o movimento se dá por com superfícies rolantes (geometria circular);

Atrito de deslizamento: É o atrito entre superfícies planas, onde é necessário maior esforço para movimentar;

Atrito de fluido: Se trata do atrito em corpos de qualquer formato geométrico, porém com uma camada de fluido separadora, que visa minimizar o contato entre ambas superfícies em questão.

Com a utilização de uma película lubrificante entre as superfícies das peças, as forças de adesão e escorregamento são substituídas pelo cisalhamento da película, o que diminui o coeficiente de atrito e desgaste (DE ALMEIDA, 2017).

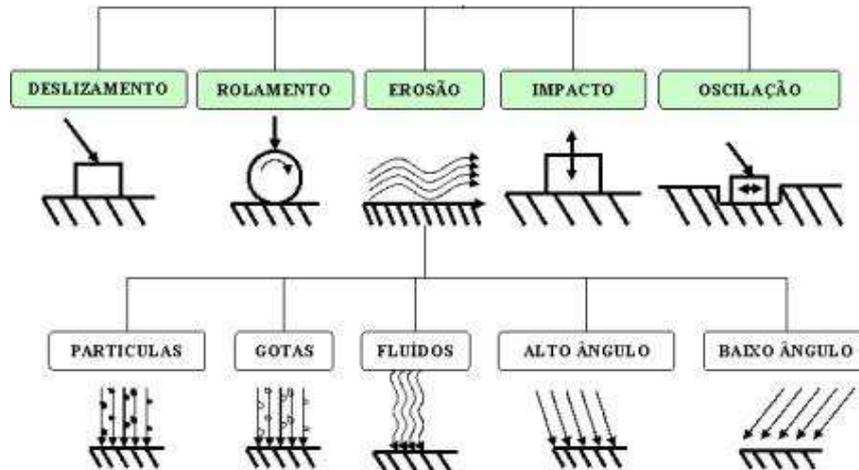


Figura 2.3 - Tipos de contato entre as superfícies que ocasionam desgaste

Fonte: (Adaptado de RADI et al, 2007).

Segundo RADI (2007), o desgaste pode ocorrer de diversas formas, por deslizamento (trata do contato entre duas superfícies planas, que para se movimentar é necessária uma força que venha a romper a força de atrito entre os dois corpos em questão), rolamento (desgaste que ocorre devido a carga pontual imposta sobre uma superfície plana, onde a tensão no ponto de apoio da roda é maior, devido à pressão ser inversamente proporcional a área que a força é aplicada), erosão (devido os impactos provocados pelas partículas misturadas com o fluido que se encontra em contato direto com superfície), impacto (ocorre quando o impacto em uma superfície, supera a resistência do material) e oscilação (resultado da fricção entre os corpos, onde pode haver aumento de temperatura e conseqüentemente uma deformação superficial). Em diversas situações em que o desgaste ocorre é possível verificar o principal mecanismo de desgaste, que é geralmente determinado pelas propriedades mecânicas do material, pela estabilidade química do material, pela temperatura gerada na zona em que ocorrem o contato dos corpos e as condições de operação (ACCADROLI, 2020 apud. Stolarski, 1990)

2.2. Lubrificação

Como vimos, a lubrificação é essencial para reduzir a força de atrito provocada pela rugosidade presente nas superfícies dos materiais, porém cada sistema possui um tipo específico de aplicação dessa prática. Para DE ALMEIDA (2017) o conceito de lubrificação baseia-se no princípio da inserção de um elemento lubrificante intermediário entre as superfícies em contato das peças de um conjunto mecânico em que se deseja minimizar o atrito (estático com dinâmico) e são classificados em cinco tipos:

Hidrostática: A lubrificação hidrostática é realizada com a inserção de uma pressão contínua para que o óleo chegue até os pontos de lubrificação. Para que uma lubrificação desse tipo venha a funcionar é necessário todo o aparato para distribuição do óleo, como o reservatório, tubulações adequadas e bomba de óleo. É utilizado geralmente em motores diesel, para redução do atrito em partes móveis e rolamentos;

Hidrodinâmica: Esse tipo de sistema de lubrificação é utilizado geralmente em instrumentos delicados, como relógios, e em rolamentos grandes de motores, assim como engrenagens. O que difere esse tipo de lubrificação da hidrostática é que o sistema depende da velocidade, cargas e folgas das partes que será aplicado o lubrificante. Ocorre com lubrificantes de alta viscosidade, que suportam altas pressões, formando uma espécie de calço hidráulico para evitar o contato direto na parte lubrificada;

Elasto-hidrodinâmica: Nesse caso, a lubrificação ocorre a uma pressão muito elevada em componentes semelhantes ao da hidrostática e hidrodinâmica. Nos sistemas mecânicos que possuem características diferentes entre si, esse tipo é utilizado, pois permite que a camada de filme lubrificante permaneça no local aplicado, enquanto muda a direção de alguma parte. Assim não havendo o escoamento do óleo na superfície, é denominada lubrificação elasto-hidrodinâmica;

Filme sólido: Esse tipo de lubrificação ocorre em sistemas que trabalham sobre altas condições de pressão e temperatura, onde levaria um lubrificante em sua forma líquida, perder a viscosidade, e conseqüentemente suas propriedades para realizar uma lubrificação eficaz. O grafite é muito utilizado nas lubrificações de filme sólido;

Lubrificação em função do tempo e quantidade: Esses tipos de aplicação de lubrificantes são os mais comuns, utilizados em sistema mais simples. Se trata da lubrificação contínua, intermitente e manual. São utilizados para evitar o uso excessivo de óleo, como por exemplo, na usinagem de uma peça, é necessária uma lubrificação controlada para evitar o

desperdício de fluido. A lubrificação contínua é aquela utilizada geralmente em locais que as partes lubrificadas ficam em banho, como por exemplo, caixa de transmissão de automóveis.

2.3. Propriedades dos lubrificantes

Os fluidos lubrificantes devem possuir propriedades específicas para atender à solicitação dos componentes que serão lubrificadas, assim é necessário realizar testes de acordo com as normas estabelecidas, para assim validar o óleo lubrificante. As propriedades físicas e químicas são as principais para avaliação da eficiência.

2.3.1. ÓLEOS VEGETAIS

O estudo da viabilidade de óleos vegetais para aplicação na área industrial vem aumentando bastante junto com a busca por alternativas de formas de energia sustentável, como por exemplo a produção de biodiesel. As características dos óleos vegetais assim como outros lubrificantes, dependem das propriedades físico-química.

Tabela 1.1 - Fórmula estrutural e ponto de fusão dos ácidos graxos (MATOS, 2011).

Simbolo ^a	Nome Comum	Fórmula Estrutural	T _{fusão} (°C)
Ácidos graxos saturados			
12:0	láurico	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	44,2
14:0	mirístico	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	52,0
16:0	palmitico	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	63,1
18:0	esteárico	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69,1
20:0	araquídico	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	75,4
22:0	beênico	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	81,0
24:0	lignocérico	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ COOH	84,2
Ácidos graxos insaturados			
16:1	palmitoléico	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	-0,5
18:1	oléico	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	13,2
18:2	linoléico	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CH(CH ₂) ₂ (CH ₂) ₉ COOH	-9,0
18:3	α-linolênico	CH ₃ (CH ₂)(CH=CHCH ₂) ₂ (CH ₂) ₈ COOH	-17,0
18:3	γ-linolênico	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₃ (CH ₂) ₃ COOH	-
20:4	araquidônico	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₄ (CH ₂) ₂ COOH	-49,5
20:5	AEP ^b	CH ₃ CH ₂ (CH=CHCH ₂) ₅ (CH ₂) ₂ COOH	-54,0
24:1	nervônico	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₁₃ COOH	39,0

Como podemos observar na tabela 1.1, cada estrutura molecular possui suas particularidades, dessa forma é possível entender a diferença que cada óleo possui, quando

submetido as mesmas condições de trabalho. Os óleos vegetais possuem em sua composição os ácidos graxos e glicerol. Entre os saturados, os mais encontrados são o ácido palmítico e esteárico, encontrados em grandes proporções no óleo de babaçu (*Attalea speciosa*). Os ácidos graxos insaturados predominam em óleos vegetais, sendo os ácidos oléico e linoléico os de maior importância (MATOS, 2011).

Os óleos vegetais são uma alternativa para utilização como lubrificante, pois apresenta algumas propriedades positivas. O principal destaque está no elevado índice de viscosidade que contribui para uma boa estabilidade térmica e na aderência de forma efetiva na superfície metálica, porém apresenta um contraponto que é a estabilidade oxidativa baixa (RIBEIRO FILHO, 2015).

2.3.2. ÓLEOS MINERAIS

Como os óleos minerais são derivados do petróleo, sua formação predomina basicamente os hidrocarbonetos (carbono e hidrogênio), e suas propriedades se alteram conforme o número de cadeias desses hidrocarbonetos.

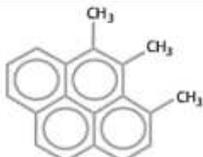
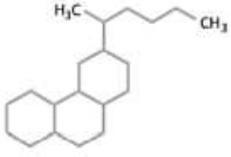
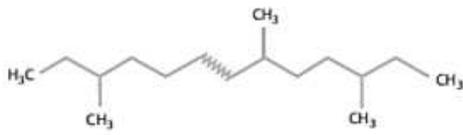
Tipo	Ligação	Algumas Aplicações
Óleos Básicos Aromáticos		Extensores e emolientes na indústria de borracha.
Óleos Básicos Naftênicos		Óleos para transformadores, compressores de refrigeração e compressores de ar.
Óleos Básicos Parafínicos		Óleos de motor, óleos hidráulicos e óleos de engrenagens.

Figura 2.5 - Principais cadeias de óleos minerais e suas funções

Fonte: (SERRA, 2018 apud. RAMOS, 2018).

Os lubrificantes nesse caso são os óleos básicos naftênicos e parafínicos e possuem aplicações distintas conforme especificado na figura 2.5.

2.3.3. ÓLEOS SINTÉTICOS

Os óleos sintéticos são os lubrificantes produzidos a partir de compostos sintetizados, esses têm a função de reunir as propriedades positivas, eliminando as desvantagens que possuem em óleos minerais ou vegetais. A alta performance desses óleos explica a utilização desses tipos de lubrificantes em condições de trabalho extremas.

Os tipos mais comuns de lubrificantes dessa classe são:

- I. Hidrocarbonetos sintéticos** que são produzidos a partir de óleo mineral, porém eliminando o lado de impurezas e radicais livres (que contribuem na degradação do meio ambiente), além de fornecer maior estabilidade térmica os polialfaoleofinas são os mais comuns na produção desse tipo;
- II. Poliésteres** são aqueles que possuem boa estabilidade oxidativa, térmica e alto índice de viscosidade, o que permite a utilização desses tipos em sistemas hidráulico, onde é requisitado essas propriedades;
- III. Óleos de silicone** possuem resistência a ação de solventes e outros produtos químicos, e predominam em sua composição o metil-polisiloxanos e fenil-polisiloxanos;
- IV. Diésteres** são os mais utilizados, pois são base para fabricação de graxas e lubrificantes que suportam extremas condições de temperatura;
- V. Poliésteres Perfluorados** Compostos de moléculas de flúor e fluorclorocarbonos, assim como os óleos de silicone, são quimicamente inertes, todavia em temperaturas acima de 260 °C eles tendem a sofrer craqueamento térmico e liberar vapores tóxicos (MOLYKOTE, 2014).

2.3.4. PROPRIEDADES FÍSICAS

Uma das formas de avaliação do desempenho de um lubrificante é através do seu comportamento diante aos efeitos físicos. Um lubrificante possui várias propriedades físicas, que determina a sua qualidade para aplicações específicas (SERRA, 2018).

2.3.4.1. Densidade

A densidade é uma propriedade física que determina a quantidade de massa em determinado espaço volumétrico. É importante determinar essa característica, pois como se trata de uma propriedade específica, pode se determinar o estado de pureza do óleo. A densidade e a gravidade mudam com a temperatura, logo, as determinações dos seus valores são feitas a uma temperatura controlada e, depois corrigida para uma temperatura padrão, recorrendo ao uso de tabelas específicas (ROSA, 2017)

2.3.4.2. Viscosidade

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes para determinação da utilização de um fluido, pois representa o atrito interno existente no fluido, e a garantia da espessura de filme lubrificante se dá por essa característica. Essa propriedade está ligada diretamente a resistência de fluido ao escoamento, assim é possível notar a diferença de viscosidade de fluidos de forma visual (DE ARAÚJO CALDAS, 2019).

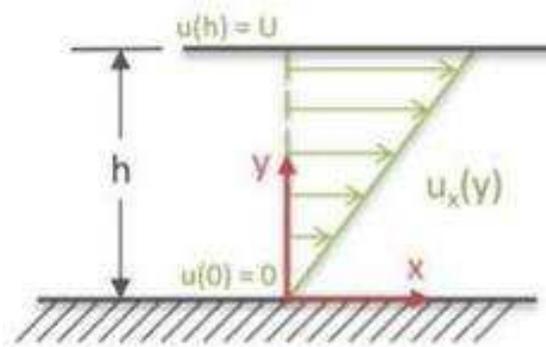


Figura 2.6 - Representação do esquema de uma camada de fluido entre superfícies

Fonte: (Adaptado de ROSA, 2017).

Para BRUNETTI (2008) a viscosidade é específica de cada fluido, e sofre alteração dependendo da sua condição, onde a temperatura é uma das que mais influenciam e há dois tipos de viscosidade, dinâmica ou absoluta e cinemática. Para se obter a viscosidade dinâmica (μ), é necessário o conhecimento da tensão (T) que é a força aplicada em uma determinada área, pela razão do gradiente da velocidade normal à tensão de corte que é a razão da velocidade (u) entre altura do filme lubrificante (h).

$$\mu = \frac{T}{\frac{u}{h}} \quad (2.2)$$

Já a viscosidade cinemática (ν) é a razão da viscosidade dinâmica entre massa específica (ρ) ou densidade do fluido (BRUNETTI, 2008).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

Na avaliação da viscosidade cinemática não é envolvido força, suas grandezas estão ligadas a comprimento e tempo. Conforme o Sistema Internacional de Unidades (S.I.) a viscosidade dinâmica é dada em centipoise (cP) e a viscosidade cinemática é medida em centiStoke (cSt).

2.3.4.3. *Ponto de fulgor e combustão*

O ponto de fulgor é determinado pela menor temperatura na qual o fluido inicia o processo de vaporização, e assim emite chamas intermitentes com a ignição desses vapores (QUEIROZ, 2016). Já o ponto de combustão precede o ponto de fulgor, pois é a temperatura que o líquido em questão começa a entrar em processo de combustão total. Essa propriedade é muito importante, pois determina até que temperatura o fluido pode operar sem inflamar.

2.4. **Sistemas de transmissão**

Os sistemas de transmissão são responsáveis por transferir a força gerada em um motor para as rodas ou eixo que se deseja aplicar a energia mecânica. Para isso, existem diversos tipos de mecanismos para transmitir movimento, as correntes nesse caso se destacam por serem flexíveis e suportar elevadas cargas, além de não sofrerem deslizamento (LA PORTA NETO, 2013).

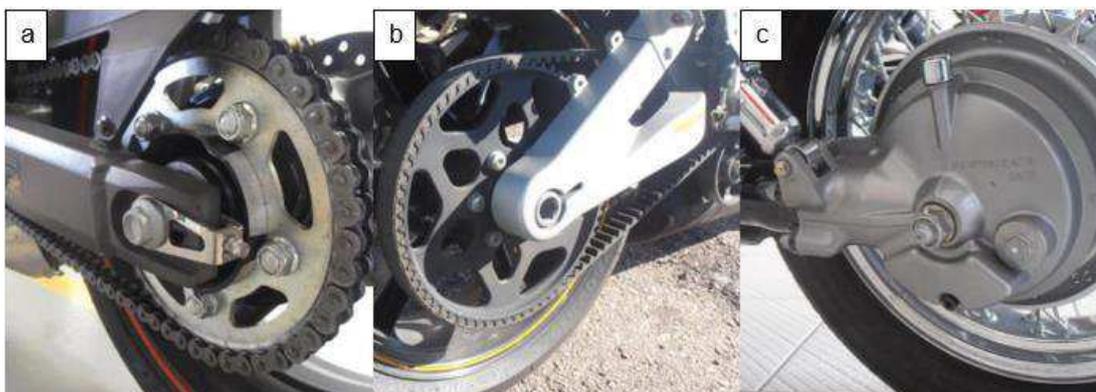


Figura 2.7 - Exemplo de transmissão por (a) corrente, (b) correia e (c) eixo cardã
Fonte: (PIOVEZAN, 2015).

Existem basicamente três tipos de transmissão de potência empregados em motocicletas: corrente, correia e cardã (árvore de transmissão). Os sistemas baseados em correntes são os mais empregados (PIOVEZAN, 2015)

A correias são elementos de transmissão que possuem baixo nível de ruído, não há necessidade de lubrificação, e possuem vários tipos de perfis e materiais que em sua composição. Elas podem ser classificadas de acordo com o perfil, como, correias trapezoidais, planas, sincronizadas (dentadas), duplas, hexagonais e com ranhuras. Esse tipo de transmissão é utilizado geralmente em sistema de sincronização e transferência de potência com polias de motores, máquinas e diversos equipamentos industriais (FLORES, 2017).

Os eixos, fazem parte do grupo de transmissão rígida, ou seja, não permitem flexibilidade facilitada. Assim, não são muito usuais em transmissão de motocicletas ou bicicletas, pois são sistemas para cargas maiores e conseqüentemente tem um custo elevado, tornando-o inviável.

2.4.1. CORRENTES

As correntes são os elementos de transmissão mais utilizados em motocicletas ou bicicletas, pois há diversas características em favor de sua utilização. As principais características das transmissões por correntes, de acordo com DE MARCO FILHO, 2009 são:

- I. Adequada para grandes distâncias entre eixos (o que torna impraticável a utilização de engrenagens);
- II. Transmissão de maior potência (quando comparada com correias);

- III. Permite a variação do comprimento, com a remoção ou adição de elos;
- IV. Menor carga nos mancais, já que não necessita de uma carga inicial;
- V. Não há perigo de deslizamento;
- VI. Bons rendimentos e eficiência (98 a 99 %, em condições ideais);
- VII. Longa vida;
- VIII. Permite grandes reduções ($i < 7$);
- IX. São mais tolerantes em relação ao desalinhamento de centros;
- X. Transmissão sincronizada;
- XI. Condições severas de operação (correias são inadequadas sob umidade, alta temperatura ou ambiente agressivo);
- XII. São articuladas apenas em um plano;
- XIII. Sofrem desgaste devido a fadiga e tensão superficial;
- XIV. Apresentam ruídos, choques e vibrações;
- XV. Requerem lubrificações;
- XVI. Necessitam de proteção contra poeira e sujeiras;
- XVII. Menor velocidade

Existem diversos tipos de correntes de transmissão, cada uma com componentes diferentes, são as correntes de rolos (mais utilizadas em transmissão de bicicletas), de buchas, de dentes e com elos fundidos. As correntes mais comuns, de rolos, são mais fáceis de realizar manutenção (ABECOM, 2021).

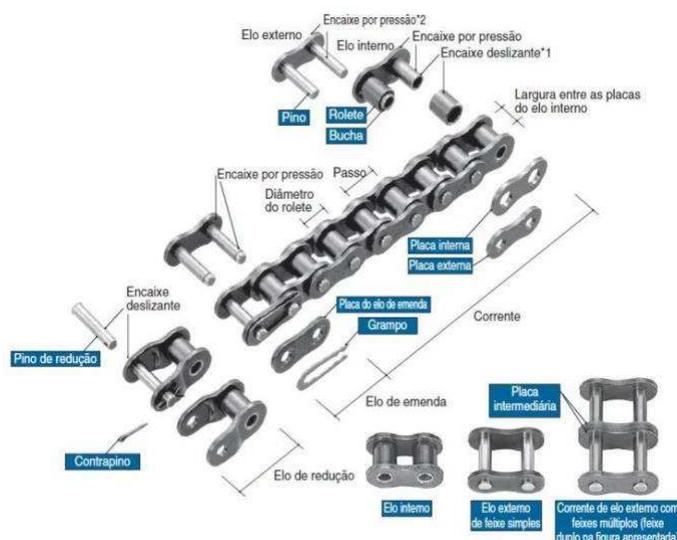


Figura 2.8 - Componentes de uma corrente de rolete

Fonte: (TSUBAKIMOTO CHAIN CO. 2010)

São diversos os componentes que possuem em uma corrente, e cada um possui sua função para um melhor funcionamento desse tipo de sistema. A corrente de rolo é composta por dois tipos de elos, interno que comporta os pinos que encaixam internamente nas buchas, e externo que fixam as buchas e roletes. Esses elos são montados em sequência alternada, onde vão formando os passos da corrente. Na emenda, além das duas placas, possui uma placa do elo da emenda, seguida de um grampo, ou contrapino em outros casos.

Tabela 2.2 - Funções e esforços dos componentes das correntes de rolos (DE MARCO FILHO, 2009).

<i>COMPONENTES DAS CORRENTES DE ROLOS</i>	<i>FUNÇÃO</i>	<i>ESFORÇO</i>
Pinos	Suportar esforços da transmissão	Tração, cisalhamento, flexão e fadiga
Buchas	Envolver o pino protegendo-o contra o impacto do engrenamento	Fadiga e desgaste
Roletes	Amortecer o impacto do engrenamento	Impacto, fadiga e desgaste
Placas laterais - externa - interna	Fixar os pinos e buchas em suas posições e suportar a carga do conjunto	Tração, fadiga e choque.

Cada componente possui sua função e esforço a ser suportado, conforme a tabela 2.2.

2.4.2. LUBRIFICAÇÃO NAS CORRENTES

Assim como diversos sistemas mecânicos, as correntes necessitam de lubrificação, e nesse caso, há alguns tipos de lubrificação que podem ser aplicados. Para DE MARCO FILHO (2009) tem três tipos de inserir o fluido nesses elementos, onde são selecionadas de acordo com a necessidade ou exposição, conforme figura 2.9.

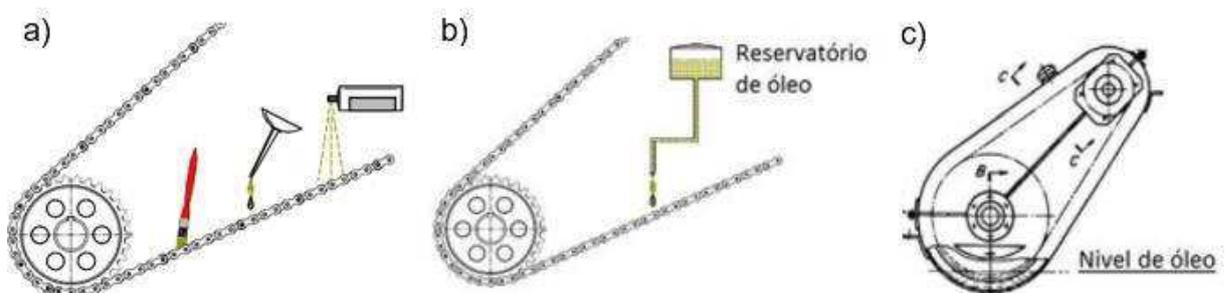


Figura 2.9 - Tipos de lubrificação: a) Manual; b) Gotejamento; c) Banho de óleo

Fonte: (Adaptado de DE MARCO FILHO, 2009).

Nas oficinas, geralmente a lubrificação é realizada manualmente, através de um recipiente com vazão reduzida, ou um pincel. No gotejamento, é necessário um recipiente que com um conta gotas na extremidade, se trata de uma lubrificação muito utilizada em usinagem. O banho de óleo é um tipo de lubrificação muito eficiente, porém pouco utilizada em correntes de transmissão de motocicletas e bicicletas, devido ser um sistema mais caro, por isso é utilizado geralmente em caixas de transmissão de motores.

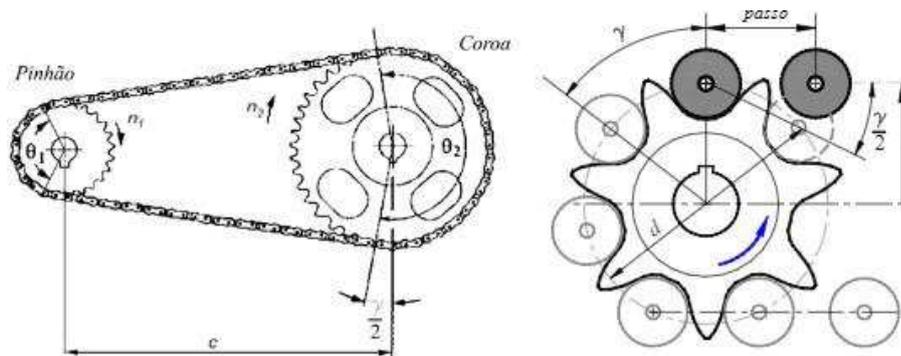


Figura 2.10 - Representação dos dados de um sistema de transmissão por corrente

Fonte: (DE MARCO FILHO, 2009).

Em rodas dentadas com menor número de dentes, é possível notar que os roletes da corrente percorrem um espaço maior até o impacto em que o rolete se acomoda. Isso é conhecido por efeito poligonal. Este efeito é causado pelo aumento da velocidade instantânea do rolete, quando este é acoplado na roda dentada, isto é, o rolete percorre um espaço de tempo maior, causando um aumento da velocidade brusca ou impacto no rolete (KICH, 2011).

2.5. Bancada dinamométrica

Segundo (KICH, 2011), o torque pode ser obtido a partir da potência elétrica e da rotação do motor, porém, apesar de simples, o cálculo do torque a partir da potência elétrica oferece uma diferença relativamente alta. A bancada desenvolvida neste trabalho para comparação de rendimento com lubrificação de óleos diferentes, tem como base o método representado na figura 2.11.

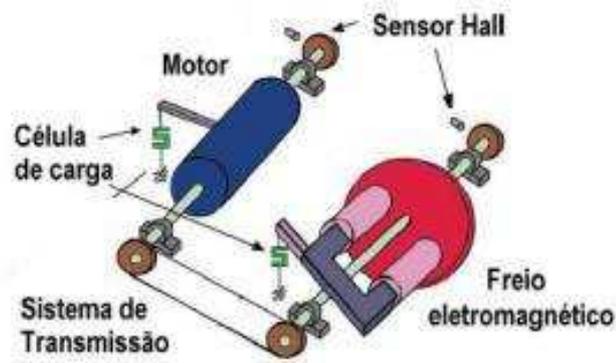


Figura 2.11 - Esquema dinamométrico para medição de rendimento do sistema

Fonte: (LARANJA, 2009).

De acordo com esse esquema, o rendimento passa a ser medido entre razão da potência do motor (P_1) pela potência do freio eletromagnético (P_2). A potência é obtida através do produto do torque pela velocidade angular (w) do sistema.

$$P = T \cdot w \quad (2.4)$$

Para determinação do torque a partir da medição de força, é necessário desenvolver a equação em seguida. Onde temos o torque (T), o comprimento do braço de alavanca (d), a força (F), e o ângulo (α) entre o braço engastado na carcaça dos motores e a balança.

$$T = d \cdot F \cdot \sin \alpha \quad (2.5)$$

Dessa forma, os valores das potências relacionadas resultam no valor do rendimento mecânico do sistema de transmissão.

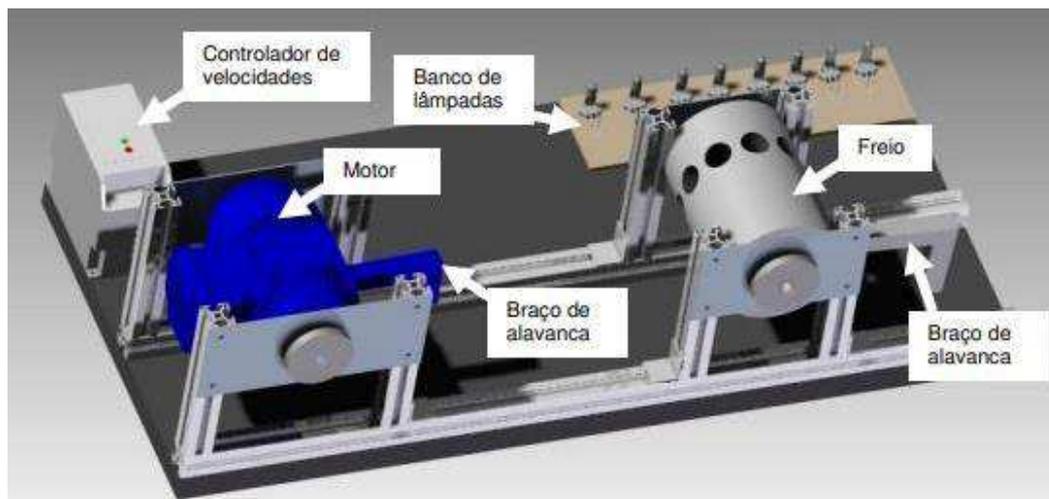


Figura 2.12 - Desenho tridimensional da bancada desenvolvida (KICH, 2011).

O modelo da bancada projetada por (KICH, 2011) é base para a bancada que será projetada neste trabalho, onde está fixado dois motores com giro do eixo livre, engastado em cada, um braço de alavanca que transmite o peso para as balanças, além do inversor de frequência (controlador de velocidades) que é necessário para se determinar a velocidade angular.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização dos lubrificantes

Nesta pesquisa foram utilizados os óleos de coco Babaçu (*Attalea speciosa*) e Andiroba (*Carapa guianensis*) por serem facilmente encontrados e comercializados no estado do Maranhão. Utilizando os métodos científicos de acordo com as normas da ABNT, as propriedades físico-químicas de densidade, viscosidade cinemática a 40°C e 100°C, ponto de fulgor e combustão foram determinadas.

A densidade ou massa específica é a primeira e mais simples propriedade que foi definida, com o uso de uma balança de precisão e um recipiente com indicação de volume, foi possível aferir o valor desta, através da equação (3.1).

$$\rho = \frac{V}{m} \quad (3.1)$$

A densidade dos óleos nesse caso foi ensaiada através da balança e do vaso de Erlenmeyer.



Figura 3.1 - Balança de precisão e Erlenmeyer.

O vaso foi colocado na balança e depois utilizado a opção “tara” para adicionar o fluido até determinado volume que é identificado pelo vaso e conseqüentemente descobrir o valor de sua massa, assim a densidade foi calculada pela divisão da massa pelo volume.

A viscosidade cinemática a 40°C e 100°C dos óleos vegetais foi ensaiada com a utilização de um agitador magnético e o viscosímetro digital (MVD-5), conforme mostrados nas figuras 3.3 e 3.2, respectivamente.



Figura 3.2 - Viscosímetro digital de modelo (MVD-5).

A viscosidade cinemática foi determinada de acordo com os procedimentos indicados no manual do viscosímetro digital (especificações do modelo em ANEXO A), onde os lubrificantes foram aquecidos a 40°C e 100°C e agitados até se tornar uma substância uniforme, em seguida foram colocados no viscosímetro, onde foi configurado com as rotações de 12, 30 e 60 RPM utilizando o spin L1 como medidor. Com a viscosidade dinâmica dada pelo viscosímetro e a densidade do fluido, foi determinada a viscosidade cinemática.

A temperatura e homogeneização do óleo foi realizada através do agitador magnético.



Figura 3.3 - Agitador magnético: 1 - Medidor de temperatura; 2 - Recipiente com ímã de agitação.

O agitador magnético possui um termopar para medição da temperatura do fluido que foi aquecido, e o ímã vai dentro do recipiente, ao ser ligado foi possível controlar a rotação por botão analógico e definir a temperatura para o aquecimento.

O ponto de fulgor foi determinado com o uso do vaso de Cleveland, que possui uma chama provocada pelo Bico de Bunsen.



Figura 3.4 – Ensaio de ponto de fulgor utilizando vaso aberto de Cleveland.

O ensaio de ponto de fulgor e combustão, respectivamente, foi realizado de acordo com as normas. A norma (ASTM D92-16b, 2016) orienta que quando a temperatura estiver acima de 60°C, a chama piloto que é acoplada ao vaso deve ser passada pela superfície do óleo a cada 3°C de elevação da temperatura, e quando houver o primeiro ponto de partida para combustão do óleo significa dizer que naquela temperatura é o ponto de fulgor do fluido. O ponto de combustão acontece após o ponto de fulgor e é a temperatura que o líquido em questão começa a entrar em processo de combustão total.

3.2. Projeto da bancada dinamométrica

Para realização dos testes e comprovação da eficiência dos óleos vegetais em comparação com os minerais, nas correntes de transmissão, foi projetada uma bancada para simulação do funcionamento real de um sistema de transmissão de bicicleta.

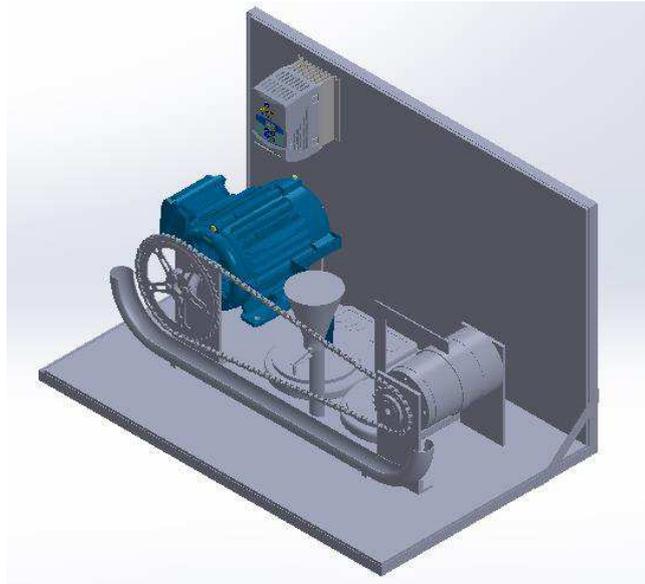


Figura 3.5 - Montagem da bancada em CAD.

A corrente de transmissão foi dimensionada, de forma que não prejudicasse a eficiência do sistema, conforme equação (3.2).

$$C_m = \frac{d_c + d_p}{2} \quad (3.2)$$

A distância mínima entre os centros (C_m) é a relação do diâmetro da coroa (191 mm) e pião (85 mm) pela metade. Assim notamos que a distância de centro mínima deve ser 138 mm. Porém, esta não deve ultrapassar 80 vezes o número de elos da corrente (110), para evitar uma flecha excessiva devido ao peso da corrente e conseqüentemente perda de eficiência. Dessa forma a distância entre os centros deve ser $138 < C_m < 8800$, essa distância foi definida como sendo 500 mm, pois é o espaço ideal para acomodar as balanças e a bancada não ficar tão grande.

A relação de transmissão (i) é definida pela razão do diâmetro primitivo da coroa (d_{pc}) pelo diâmetro primitivo do pião (d_{pp}).

$$i = \frac{d_{pc}}{d_{pp}} \quad (3.3)$$

Com $d_c = 185$ mm e $d_p = 80$ mm, temos a relação de transmissão de 2,312.

O ângulo de articulação da coroa (γ_c) e do pião (γ_p) também foram mensurados.

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z_{c;p}} \quad (3.4)$$

O número de dentes do pião (Z_p) do sistema em estudo é 20 e da coroa é de 46. Assim temos que o ângulo de articulação no pião é 18° e na coroa é de aproximadamente $7,82^\circ$.

A bancada foi projetada para possibilitar a medição de rendimento (η), conforme metodologia de KICH (2011). Os materiais utilizados para construção da bancada estão descritos na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Materiais utilizados na construção da bancada.

Quantidade	Descrição do material
1	Inversor de frequência
1	Motor trifásico de 1 cv
1	Motor DC 24V (Freio eletromagnético)
2	Braços de alavanca
3	Correntes de transmissão de potência por roletes
1	Recipiente do óleo
2	Balanças de precisão (10000gx1g)
1	Reservatório com suporte e controlador de vazão
4	Chapas de aço 5/8" (200x100) mm
1	Base de suportaçã
1	Protoboard
2	Módulos hx711
1	Placa Arduino

Os dois motores em questão são os responsáveis por fornecer dados para o cálculo de rendimento do sistema de transmissão, esses dados foram monitorados durante os testes nas 3 correntes com os diferentes óleos ensaiados na bancada. O rendimento foi mensurado com o relacionamento das potências do freio eletromagnético e do motor trifásico, conforme equação (3.1).

$$\eta = \frac{P2}{P1} \quad (3.5)$$

Como o rendimento deve ser calculado conforme a equação acima, tem que se obter os dados da equação 2.4 e 2.5. Então foi montado o circuito para aquisição as massas obtidas nas balanças a cada 2 segundos.

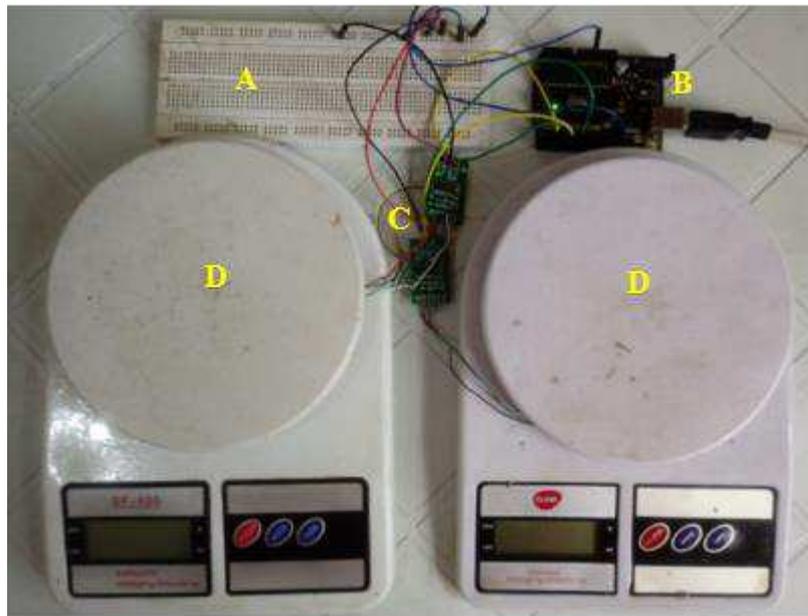


Figura 3.6 - Montagem do circuito: A) Protoboard; B) Placa Arduino; C) Módulos hx711; D) Balanças.

Na montagem do sistema eletrônico da bancada, foi utilizado a própria plataforma da balança para medição da massa, onde foi retirado os conectores das células de carga e conectados nos módulos hx711 para aquisição dos dados de extensão dessas células de carga e transferência para placa do Arduino. A comunicação entre o computador e a placa ocorreu através do *software* compatível ARDUINO IDE, onde este realizou a compilação do código que consta no APÊNDICE A.

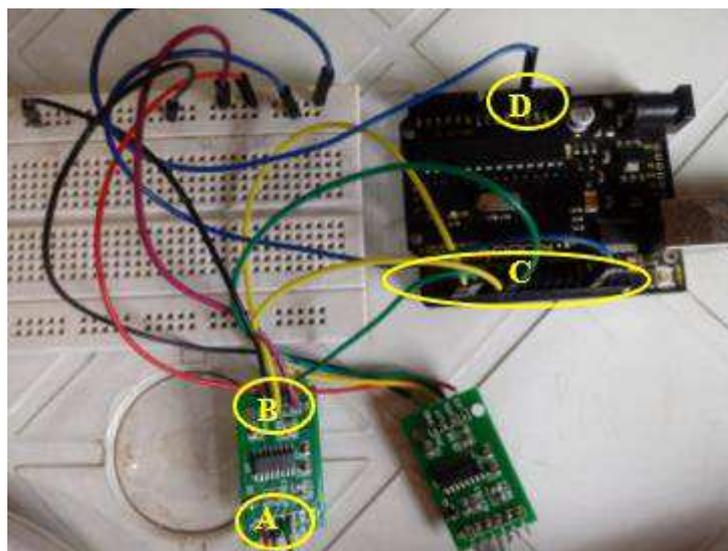


Figura 3.7 - Detalhamento do circuito: A) Portas de entrada do módulo hx711; B) Portas de saída de dados do módulo hx711; C) Portas digitais e de alimentação da placa Arduino; D) Entrada de aterramento (GND).

Os fios preto e vermelho que vem das células de cargas (balanças) foram ligados nas entradas (E+ e E-) que são os fios de alimentação, já os fios verde e branco foram conectados nas portas (A- e A+) que recebem os dados do extensômetro das células de carga, as entradas citadas são do módulo hx711. Do outro lado do módulo são transferidos os fios preto e vermelho para a porta GND e 5V da placa Arduino, através da protoboard. Os outros fios foram conectados nas portas digitais para aquisição dos dados.

A construção da bancada foi realizada de modo a tornar os cálculos mais simples, de forma que para eliminar a dificuldade da aferição do ângulo do braço engastado nos motores e a balança, foi dimensionado o suporte para que se obtivesse um ângulo de 90°.

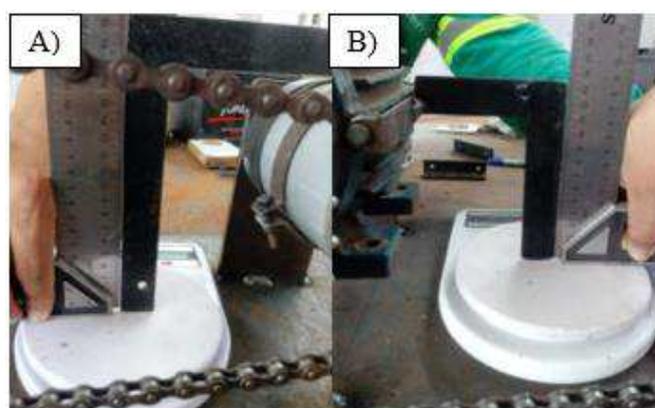


Figura 3.8 - Aferição dos ângulos: A) Motor DC 24V (Freio eletromagnético); B) Motor trifásico 1CV.

Os motores devem girar em torno do eixo livre, para assim que tocar na balança fornecer a massa real que a carcaça está gerando. Esse monitoramento do rendimento é importante, pois assegura que as correntes estão trabalhando em condições semelhantes.



Figura 3.9 - Eixo do motor acoplado ao rolamento.

Foi realizado um furo na chapa de suportação dos motores e engastado o rolamento em sua parte externa, tornando assim a parte interna com movimentação livre que   acoplada ao eixo. Os rolamentos utilizados no motor trifásico foram os de 6304z e os utilizados no freio eletromagnético foram os de 6302. A fixa o das chapas na parte traseira dos motores foi realizada com processo de soldagem MIG e na parte dianteira foi fixado com parafusos.



Figura 3.10 - Suporte para reservatório do lubrificante e mangueira com o controlador de vazão.

3.3. Procedimentos para teste dos óleos na bancada

Com a bancada finalizada, as balanças calibradas, os óleos testados foram identificados, como: 1 – Andiroba; 2 – Babaçu e 3 – 20w50. O óleo mineral 20w50 foi escolhido através de perguntas realizadas em algumas oficinas, como “O Santana” e “Renato bike”, onde proprietários dessas oficinas informaram que a lubrificação é realizada com esse tipo de óleo, seja contaminado ou não, esse lubrificante se trata de lubrificante utilizado em motores de motocicletas.

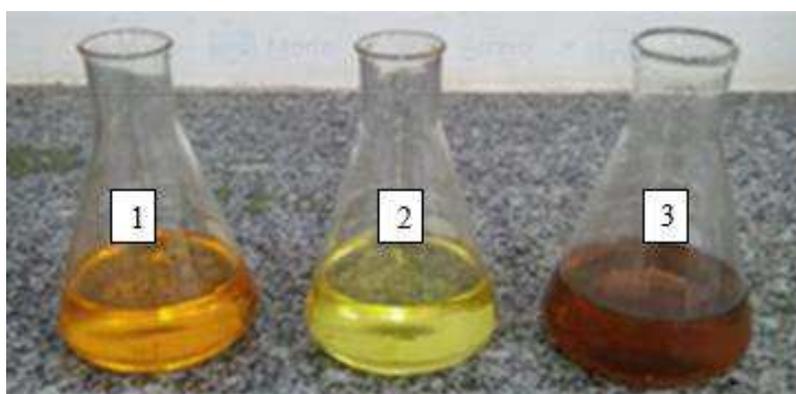


Figura 3.11 - Amostras dos óleos em estudo: 1) Óleo de Andiroba; 2) Óleo de Babaçu e 3) Óleo de base mineral 20w50.

As correntes foram identificadas conforme o registro dos óleos na figura (3.11). As correntes selecionadas foram de bicicletas convencionais.



Figura 3.12 - Correntes de transmissão de bicicletas sendo identificadas para acompanhamento dos testes.

Inicialmente as correntes foram lavadas com gasolina, para retirar a lubrificação do fabricante das correntes. Os testes realizados com os óleos foram os de desgaste (através da perda de massa) e corrosão nas correntes. Para medição do desgaste foi utilizado a balança de precisão mostrada na figura (3.1), pois cada corrente foi pesada para determinação de suas massas antes do desgaste na bancada. Cada corrente foi lubrificada com 20 ml de óleo e adicionada 10 gramas de areia para simular as impurezas do ar que as transmissões de bicicletas estão sujeitas e aumentar o desgaste para determinar o fluido que protege melhor a corrente do desgaste.



Figura 3.13 - Correntes expostas ao ar livre.

Após as medições de rendimento e desgaste as correntes foram lavadas novamente com gasolina e lubrificadas novamente com seus respectivos óleos, depois foram mergulhadas em banho de salmoura (água e sal) para acelerar o processo de oxidação e deixadas dentro do NUTENGE ao ar livre durante 10 dias, para avaliação da corrosão em cada corrente por métodos visuais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Propriedades físico-químicas dos lubrificantes

Os valores dos resultados obtidos foram tratados de forma a atender o Sistema Internacional de unidades (S.I.). A propriedade físico-química mais simples e não menos importante a ser mensurada foi a densidade, os testes foram realizados a temperatura de 40°C, com aquecimento realizado pelo agitador magnético.

Tabela 5.1 - Valores das densidades (Kg/m³) nos óleos em análise.

Lubrificante	Densidade 40°C (Kg/m ³)
Óleo de Andiroba	861
Óleo de Babaçu	830
Óleo 20w50	819

Os valores da densidade em comparação com a literatura se aproximam bastante, a diferença obtida pode ser explicada pela diferença de temperatura (aumento do volume) em que foram medidos a propriedade, pois conforme boletim técnico em ANEXO B, o óleo 20w50 tem densidade 20/4°C de 890 Kg/m³. Nos ensaios realizados por RIBEIRO FILHO (2016) a massa específica 20/4°C do óleo de Andiroba e Babaçu é de 921,5 e 837 Kg/m³, respectivamente.

Sendo a viscosidade cinemática (cSt) definida pela razão da viscosidade absoluta ou dinâmica (mPa.s ou cP) com a massa específica, podemos obter esses valores de viscosidade com os testes realizados no viscosímetro digital. Para a aferição da viscosidade, foram realizados 3 testes em cada rotação que se encontrava dentro do range (20-80%), conforme especifica o manual MARTE (2021), em seguida, foram obtidas as médias parciais, e por fim, a média geral. Os testes de viscosidade foram realizados com o sensor L1 do viscosímetro digital, pois permite uma faixa de medição menor.

Tabela 5.2 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Babaçu a 40°C.

Rotação (rpm)	1	2	3	Médias parciais
12	26,8422	26,9335	27,1244	26,9667

30	20,5342	20,1524	20,3682	20,3516
60	21,3974	21,5883	22,161	21,71557
Média total	-	-	-	23,01129

Após as medições do óleo Babaçu a 40°C, o óleo foi aquecido no agitador magnético a temperatura de 100°C, para realização dos testes posteriores.

Tabela 5.3 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Babaçu a 100°C.

Rotação (rpm)	1	2	3	Médias parciais
12	7,56158	7,31393	8,43661	7,770707
30	6,216015	6,529705	6,75259	6,499437
60	7,619365	7,94131	8,12292	7,894532
Média total	-	-	-	7,388225

Temos a viscosidade dinâmica do óleo de babaçu a 40°C e 100°C, com os valores de 23,01129 e 7,388225 (mPa.s), respectivamente. Fazendo os devidos cálculos com a massa específica, temos que a viscosidade cinemática do óleo Babaçu a 40 e 100 (°C), é de 27,72 e 8,95 (cSt).

Tabela 5.4 - Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo Andiroba a 40°C.

Rotação (rpm)	1	2	3	Médias parciais
12	28,58606	28,92099	28,716933	28,74133
30	23,51219	22,326591	22,494486	22,77776
60	23,77393	23,494968	23,734326	23,66774
Média total	-	-	-	25,06228

Como podemos observar, as medições com o óleo de Andiroba a 40°C, se mostraram com uma viscosidade maior que o óleo de Babaçu.

Tabela 5.5 – Testes de viscosidade dinâmica (mPa.s) no óleo de Andiroba a 100°C

Rotação (rpm)	1	2	3	Médias parciais
12	10,3814	10,1336106	10,3368144	10,28394
30	9,479414	9,547149	9,127023	9,384529
60	10,03587	10,1550456	10,104459	10,09846
Média total	-	-	-	9,922309

Com os resultados obtidos nas tabelas 5.4 e 5.5, temos os valores de 29,108 e 11,572 (cSt), assim podemos observar que o óleo de Andiroba tem uma viscosidade maior que o óleo de Babaçu, a diferença na composição química desses óleos explica a diferença nos resultados, pois cada óleo tem suas características físicas e químicas. Os valores de ambos os óleos testados não coincidem com os resultados obtidos por RIBEIRO FILHO (2016), porém se aproximam, conforme mostrado na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Viscosidade do óleo de Andiroba e Babaçu (Adaptado de RIBEIRO FILHO, 2016)

Óleo vegetal	Viscosidade cinemática a 40°C (cSt)	Viscosidade cinemática a 100°C (cSt)
Andiroba	40,15	7,98
Babaçu	29,52	6,22

Essa diferença do teor de elementos, pode ser explicado devido ao tamanho das amêndoas, pois cada fruto apresenta tamanho e formato diferente (LIMA, M.G., 2006). Os testes de viscosidade no óleo 20w50 não foram realizados, pois já temos esse dado no boletim técnico em ANEXO B, onde a viscosidade cinemática é de 168,2 cSt a temperatura de 40°C e, 17,25 cSt a 100°C.

Tabela 5.7 - Testes de ponto de fulgor e combustão.

Lubrificante	Temperatura (°C)
Babaçu	>200
Andiroba	>200

Os testes foram realizados, porém a temperatura de alcance do equipamento não apresentou o ponto de fulgor e combustão, ou seja, esses óleos tem a temperatura dessas duas propriedades citadas, acima do valor mostrado na Tabela 5.6.

4.2. Testes na bancada dinamométrica

Com a bancada finalizada, conforme mostrado na figura 5.1, foram realizados os testes com os óleos, conforme descrito na metodologia.

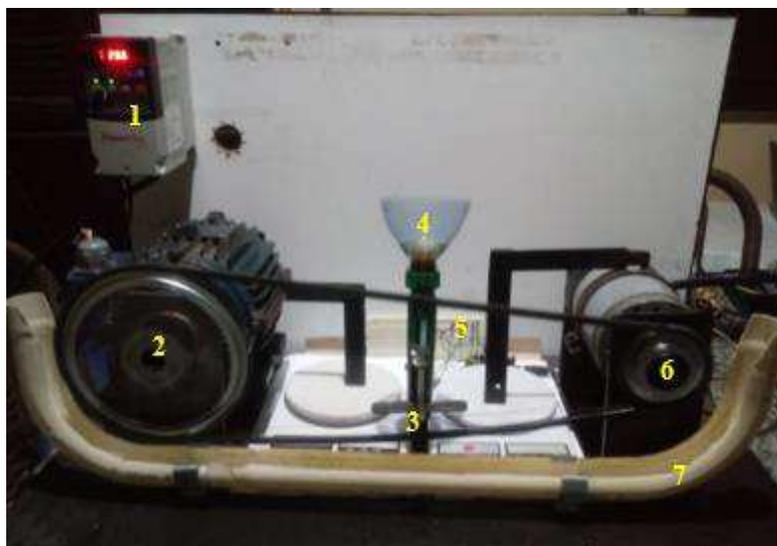


Figura 5.1 - Bancada em funcionamento: 1 - Inversor de frequência; 2 – Motor 1 cv; 3 – Balanças; 4 – Reservatório com controle de vazão; 5 – Circuito; 6 – Freio eletromagnético (motor DC 24v); 7 – Recipiente do óleo (canaleta).

O recipiente do óleo foi desenvolvido com 1 com tubo de pvc de 400 mm de comprimento e 40mm de diâmetro e 2 curvas de 90° do mesmo diâmetro, para evitar o excesso de sujeira na bancada e possível falha no circuito. O braço de alavanca do motor de 1 cv é de 180 mm e do freio eletromagnético é de 145 mm, com as massas adquiridas pela balança 1 (motor 1 cv) e 2 (freio) através do circuito, podemos calcular o torque e potência para obtermos o rendimento do sistema.

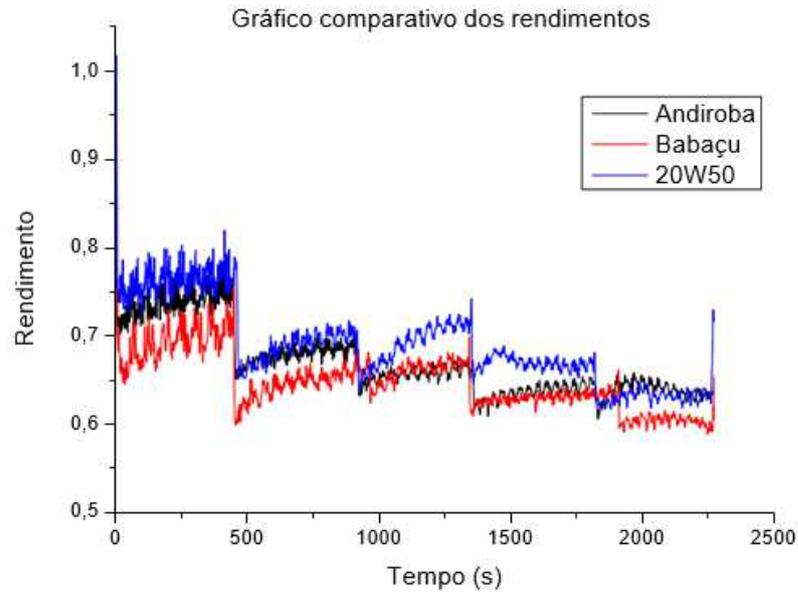


Figura 5.2 - Gráfico comparativo de rendimento do sistema nos testes

Pelo gráfico de monitoramento do teste, podemos perceber que a cada intervalo de aproximadamente 8 minutos, temos uma possível alta no rendimento. Essa alta no rendimento é notada por conta do incremento de 10 Hz a cada intervalo citado. Dessa forma a curva tende a se elevar, porém desce com o decorrer do intervalo. Conforme definido anteriormente, o efeito poligonal é responsável por essa característica na curva, pois o máximo rendimento ocorre na mesma condição em que acontece a maior perda pelo efeito (MAGALHÃES, 2011). Já, para SMITH (2002) esse efeito é minimizado a níveis de 3% de aumento da velocidade, para o caso do número de dentes da menor roda ser igual a 17. Os testes foram realizados com rotação de até 50 Hz, pois acima disso, o motor perde rendimento e trabalha de forma reduzida, onde causa um aumento de temperatura na sua carcaça, assim o teste completo em cada corrente foi de aproximadamente 40 minutos.

Tabela 5.8 - Perda de massa nas correntes lubrificadas com os respectivos óleos

Corrente	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (g)
1	340,01	339,40	0,61
2	339,80	338,95	0,85
3	339,34	338,87	0,47

Conforme a metodologia, as numerações são correspondentes aos óleos: 1 – Andiroba; 2 – Babaçu; 3 – 20w50. Os resultados da perda de massa indicam os lubrificantes que deram maior proteção à corrente contra o desgaste, assim o óleo mineral 20w50 teve maior eficiência.

Isso é explicado pelo fato de a viscosidade ser maior nos óleos em que a corrente teve menor desgaste, em comparação. A viscosidade se refere a resistência do fluido a tensão de cisalhamento quando submetido a uma determinada força, assim os lubrificantes de menor viscosidade suportam menos força, fazendo com que as partes móveis entrem em contato de forma mais facilitada.



Figura 5.3 - Correntes oxidadas após 10 dias de exposição ao ambiente

Após 10 dias com as correntes expostas ao meio ambiente, foi possível notar visualmente que a corrente 1 (Andiroba) era a que estava mais oxidada, seguida da corrente 2 (Babaçu) e a 3 (20w50) que estava com a aparência de menor oxidação. Isso é explicado pelo fato de os óleos vegetais apresentarem duplas ligações nos ácidos graxos, que provocam uma menor estabilidade oxidativa do que a dos óleos minerais (MATOS, 2011).

5. CONCLUSÃO

No estudo realizado foram obtidos os valores de densidade, viscosidade e ponto de fulgor. Utilizando os meios disponíveis, foi possível obter os resultados de densidade próximos de resultados existentes na literatura, demonstrando a validade dos testes. Os valores de viscosidade variaram em comparação com resultados obtidos em outras pesquisas, assim vimos que é importante a definição dessas propriedades em laboratório, devido a variação de composição nos óleos vegetais durante sua extração.

Os valores de rendimento obtido através do incremento do circuito na bancada, demonstraram que os testes de desgaste nas correntes em que o óleo mineral se superou, tem validade, pois durante os testes foi obtido perfil de rendimento semelhante.

Por fim, com os resultados do trabalho nota-se a importância do desenvolvimento de estudos que relacione o conhecimento da composição química dos óleos vegetais com as características de desempenho mecânico, pois com tratamento do óleo em relação a sua composição, pode-se reverter os resultados em relação a oxidação nas correntes produzindo um lubrificante de base biológica e com características de desempenho compatíveis com a observada em óleos lubrificantes minerais.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

As sugestões para trabalho nesse segmento e aprimoramentos que podem ser implementados, são:

- I. Estudar as propriedades químicas para entendimento da influência da composição dos óleos vegetais nas características de desempenho mecânico;
- II. Automatizar o sistema do inversor de frequência para incrementar potência no motor da bancada;
- III. Criar monitoramento da vazão do lubrificante na corrente, afim de tornar os testes com precisão maior;
- IV. Modificar a bancada para realizar testes com diferentes distâncias de centros dos motores e comparar a eficiência;
- V. Adaptar medidor de tensão e corrente na saída do freio eletromagnético para verificar a geração de energia em relação ao rendimento.

REFERÊNCIAS

ABECOM. **Correntes industriais: normas e tipos. Qual usar em sua empresa.** Loja abecom. Disponível em: < <https://www.abecom.com.br/correntes-industriais/> >. Acesso em: 24 Nov. 2021

ACCADROLLI, Gláucio. **Análise de desgaste de materiais aplicados em ferramentas de forjamento a frio.** 2020.

ASTM D92-16b, **Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

BRINCANDO COM IDÉIAS. **O Arduino funciona como uma balança? Sim! Ele é capaz! - Módulo HX711. Brincado com idéias.** Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=-qLfybfvsHw&t=747s> >. Acesso em: 18 Out. 2021.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro et al. **Rugosidade superficial: conceitos e princípios de medição.** 1996.

CORDEIRO, Yasmim Monteiro et al. Aspectos Técnicos e Ambientais dos Óleos Lubrificantes Minerais versus Vegetais em Aplicações de Metal Working com Ênfase em Usinagem. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 11, p. 20-39, 2020.

D'ALMEIDA, Albino Lopes. **Indústria do petróleo no Brasil e no mundo: formação, desenvolvimento e ambiência atual.** Editora Blucher, 2015.

DE ALMEIDA, Paulo Samuel. **Lubrificação Industrial-Tipos e métodos de lubrificação.** Saraiva Educação as, 2017.

DE ARAÚJO CALDAS, Allan Giuseppe et al. **DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE CINEMÁTICA POR MÉTODO DE STOKES ATRAVÉS DE ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE VISCOSÍMETRO AUTOMATIZADO**. p. 1-388–416, 2019.

DE MARCO FILHO, FLÁVIO. Elementos de transmissão flexíveis. **Departamento de Engenharia Mecânica POLI/UFRJ**, 2009.

Filho P. R. C. F. R., 2014, “**Desenvolvimento de uma unidade experimental para estudo tribológico de desgaste de contato lubrificado por gotejamento de óleos vegetais**”, Universidade Santa Cecília, São Paulo, Brazil.

FLORES, Paulo et al. **T. 02-Transmissões por correias**. 2017.

GIACOMELLI, Renan Oss et al. **Metodologia para investigação do desempenho tribológico de nanopartículas de lubrificantes sólidos na macroescala aplicada a grafeno e carbono derivado de carbetos**. 2020.

JOSÉ VIANNA. **Polícia civil faz operação para combater descarte ilegal de óleo lubrificante**. G1, PR e RPC. Disponível em: <g1.globo.com/pr/parana/noticia/policia-civil-faz-operacao-para-combater-descarte-ilegal-de-oleo-lubrificante-em-nove-estados.ghtml>. Acesso em: 16 Out. 2021.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **O que é força de atrito?**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-forca-atrito.htm>. Acesso em 24 de novembro de 2021.

KICH, Felipe de Mello. **Bancada dinamométrica para a medição de rendimento de sistemas de transmissão mecânica**. 2011.

LARANJA, R. **Bancada Dinamométrica Automatizada para Sistemas de Transmissão Mecânica de Baixa Potência**. Projeto CNPq, n. 478970, p. 9, 2009.

LA PORTA NETO, Dante Gageiro. **Estudo da influência das condições de operação em sistemas de transmissão de potência por elementos flexíveis.** 2013.

LUCAS FILHO, Antonio; DE OLIVEIRA PAULA, Edgley Alves; DA ROCHA LINHARES, Edna Lúcia. **CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ARMAZENAMENTO E DESTINO FINAL DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES, GRAXAS E ESTOPAS CONTAMINADAS GERADAS NAS ATIVIDADES DAS OFICINAS MECÂNICAS DA CIDADE DE CARAÚBAS–RN.** 2019.

LIMA, M.G.; CAVALCANTE, A.N.; NERES, H.L.S.; MOURA, C. V. R.; ARAUJO, E. C. E.; SITTOLIN, I. M. **Extração do óleo de babaçu (*Orbignya Speciosa*) provenientes da Embrapa Meio-Norte visando a produção de biodiesel.** 2016.

Marte – Brazil. **User’s Manual (MVD Digital Viscometer).** Local de publicação: < www.martebal.com.br >. 2021

MARTINS, Silas Sarkiz da Silva et al. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. **Holos**, v. 6, p. 54-76, 2015.

MARTINS, Harley Moraes. **A destinação final das embalagens de óleo lubrificante: o caso do Programa Jogue Limpo.** 2005. Tese de Doutorado. Master’s dissertation. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAGALHÃES, Marcos Antonio Schmitz. **Levantamento de curvas de rendimento de um sistema de transmissão mecânica.** 2011.

MATOS, Paulo Roberto Rodrigues de. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes.** 2011.

MOLYKOTE. L. Disponível em: < <http://www.lubrificantes.net/ole-004.htm> > | Acesso em: 12 Nov. 2020.

PETRONAS. **Um pouco da história dos lubrificantes e seus usos na indústria e rotina humana.** Inovação Industrial. Disponível em: < <https://inovacaoindustrial.com.br/historia-dos-lubrificantes/> >. Acesso em: 23 Nov. 2021.

PIOVEZAN, Carlos Alexandre. **Sistema automatizado de lubrificação de transmissão por correntes para motocicletas.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PIMENTEL, Jaqueline et al. Formação do Petróleo: Processo de Decomposição de Matérias Orgânicas. **REVISTA DE TRABALHOS ACADÊMICOS-CAMPUS NITERÓI**, v. 2, n. 2, 2011.

QUEIROZ, Caroline Guimarães de. **Análise do ponto de fulgor em um sistema de produção de biodiesel utilizando separação por membrana.** 2016

RIBEIRO FILHO, Paulo Roberto Campos Flexa et al. **PROPRIEDADES FÍSICAS DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E VEGETAIS E AVALIAÇÃO DE DESGASTES POR FOUR BALL.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 1, 2016.

RIBEIRO FILHO, P. R. C. F. **Desenvolvimento de uma unidade experimental para estudo tribológico de desgaste de contato lubrificado por gotejamento de óleos vegetais.** 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo. 2015.

RADI, Polyana Alves et al. Tribologia, conceitos e aplicações. **ANAIS DO 13º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA (XIII ENCITA). XIII., São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.**

ROSA, Anderson Manoel da. **Influência de diferentes tipos de lubrificantes e da pressão de contato no atrito e desgaste de ferramentas para conformação de chapas.** 2017.

SERRA, Adriano do Amor Divino Guilhon. **Estudo experimental da viabilidade tribológica da utilização de biolubrificantes**. 2018.

SMITH, P. N. **Elementos de Máquinas–Notas de aula**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2002.

TANNÚS, Alberto. **Física I Mecânica**. Slideplayer: Slides, 2014. Color

TSUBAKIMOTO CHAIN CO. **Corrente Tsubaki**. 1. ed. São Paulo/SP: [s.n.], 2010.

UNIVERSAL LUBRIFICANTES. **Atrito, Desgaste e Viscosidade**. Disponível em: <<http://www.universallubrificantes.com.br/component/k2/item/33-atrito-desgaste-e-viscosidade>>. Acesso em: 23 Nov. 2021

VIVEIROS, M. **Cerca de 28 mil litros de óleo poluem SP por ano**. In: FOLHA ON LINE, 2000. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u6713.shl>>. Acesso em: 08 Out. 2021

ANEXO A – Informações técnicas do viscosímetro digital (MVD-5)

DADOS TÉCNICOS	
Nível tipo bolha embutido na unidade de medição. Teclado de membrana para fácil operação. Display de cristal líquido com luz de fundo azul de duplo nível. Faixa de medição de 100 mPa.s a 100.000 mPa.s. (10-99 mPa.s com adaptador de baixa viscosidade - não incluso). Precisão de medição 0,5% e precisão de $\pm 1\%$ do fundo de escala.	
Velocidade selecionável em	6; 12; 30 e 60 RPM.
4 spindles em aço inox 316 com estojo protetor.	
Alimentação	Bivolt automático 100-240 V - 50/60 Hz

ANEXO B – Boletim técnico do óleo 20w50 utilizado



Castrol GTX Anti Borra 20W-50

ESPECIFICAÇÕES

SAE 20W-50
API SL

**CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS
PRINCIPAIS ⁽¹⁾**

Densidade 20/ 4 °C	kg/dm ³	0,890
Viscosidade a 40° C	cSt	168,20
Viscosidade a 100 °C	cSt	17,25
Índice de Viscosidade	-	117
TBN	mg KOH/ g	6,8

(1) Dados típicos, que não constituem especificações.

PRAZO DE VALIDADE

Indeterminado, desde que armazenado tampado, em local limpo e seco.

APÊNDICE A – Compilação do código para atuação no circuito

```
// INCLUSÃO DE BIBLIOTECAS
```

```
#include <HX711.h>
```

```
// DEFINIÇÕES DE PINOS
```

```
#define pinDT 2
```

```
#define pinSCK 3
```

```
#define pinBotao 4
```

```
#define pinDT2 5
```

```
#define pinSCK2 6
```

```
// INSTANCIANDO OBJETOS
```

```
HX711 scale;
```

```
HX711 scale2;
```

```
// DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
```

```
float medida = 0;
```

```
float medida2 = 1;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(57600);
```

```
  scale.begin(pinDT, pinSCK); // CONFIGURANDO OS PINOS DA BALANÇA
```

```
  scale.set_scale(-272300); // LIMPANDO O VALOR DA ESCALA
```

```
  delay(2000);
```

```
  scale.tare(); // ZERANDO A BALANÇA PARA DESCONSIDERAR A MASSA DA  
  ESTRUTURA
```

```
  scale2.begin(pinDT2, pinSCK2); // CONFIGURANDO OS PINOS DA BALANÇA
```

```
  scale2.set_scale(-368506); // LIMPANDO O VALOR DA ESCALA
```

```

delay(2000);
scale2.tare(); // ZERANDO A BALANÇA PARA DESCONSIDERAR A MASSA DA
ESTRUTURA

Serial.println("Balança Zerada");
}

void loop() {
//BALANÇA 1
medida = scale.get_units(5); // SALVANDO NA VARIÁVEL O VALOR DA MÉDIA DE 5
MEDIDAS
Serial.print("Balança1: ");
Serial.print(medida, 3); // ENVIANDO PARA MONITOR SERIAL A MEDIDA COM 3
CASAS DECIMAIS
scale.power_down(); // DESLIGANDO O SENSOR
delay(1000); // AGUARDA 5 SEGUNDOS
scale.power_up(); // LIGANDO O SENSOR
//BALANÇA 2

medida2 = scale2.get_units(5); // SALVANDO NA VARIÁVEL O VALOR DA MÉDIA DE
5 MEDIDAS
Serial.print(" Balança2: ");
Serial.print(medida2, 3); // ENVIANDO PARA MONITOR SERIAL A MEDIDA COM 3
CASAS DECIMAIS

Serial.println("");

scale2.power_down(); // DESLIGANDO O SENSOR
delay(1000); // AGUARDA 5 SEGUNDOS
scale2.power_up(); // LIGANDO O SENSOR
}

```

Fonte: Adaptado de BRINCANDO COM IDÉIAS, 2021