

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA  
FONSECA**

**Agatha Silva José  
Bruno Cesar Cunha da Costa  
Michael Douglas Trindade Teixeira**

**SELEÇÃO DE LUBRIFICANTES PARA CAIXA DE REDUÇÃO DO PROTÓTIPO  
BAJA/SAE DO CEFET-RJ**

**Rio de Janeiro  
2023**

**Agatha Silva José**  
**Bruno Cesar Cunha da Costa**  
**Michael Douglas Trindade Teixeira**

**SELEÇÃO DE LUBRIFICANTES PARA CAIXA DE REDUÇÃO DO PROTÓTIPO  
BAJA/SAE DO CEFET-RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica, do  
Departamento de Engenharia Mecânica, do  
Centro Federal de Educação e Tecnológica Celso  
Suckow da Fonseca

Orientador: Jonatas Motta Quirino

Rio de Janeiro  
2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

J83 José, Agatha Silva  
Seleção de lubrificantes para caixa de redução do protótipo  
Baja/SAE do CEFET-RJ / Agatha Silva José, Bruno Cesar Cunha  
da Costa [e] Michael Douglas Trindade Teixeira – 2023.  
77f.: il. (algumas color.) , enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação  
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.  
Bibliografia: f. 74-77.  
Orientador: Jonatas Motta Quirino.

1. Engenharia mecânica. 2. Lubrificantes – Viscosidade.  
3. Caixa de redução. 4. Veículos Mini-Baja. I. Costa, Bruno Cesar  
Cunha da. II. Teixeira, Michael Douglas Trindade. III. Quirino,  
Jonatas Motta (Orient.). IV. Título.

CDD 620.1

## AGRADECIMENTO AGATHA

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado a capacidade de chegar até aqui, ter me guiado e me dado força nos momentos que eu mais precisei. Este trabalho é dedicado a Deus, em reconhecimento humilde de Sua constante presença e auxílio.

Expresso meu profundo agradecimento à minha querida mãe, Marilene, cujo amor incondicional e apoio constante foram força motriz por trás da realização dessa graduação. Sua orientação, paciência e encorajamento foram pilares essenciais ao longo dessa jornada acadêmica. Esse trabalho não seria possível sem o seu amor e dedicação.

Dedico especial essa gratidão ao meu pai, Amaro, cujo apoio incansável e exemplo inspirador foram fundamentais na conclusão deste trabalho. Sua sabedoria e incentivo e constante encorajamento foram alicerces essenciais durante toda a minha trajetória acadêmica. Esse TCC é um reflexo não apenas do meu esforço, mas também do seu comprometimento em me ver alcançar meus objetivos. Agradeço por ser meu guia e por ser uma presença valiosa em cada passo desta jornada.

Agradeço também ao meu amado namorado, Adryel, cujo apoio inabalável e compreensão foram uma fonte constante de força durante a elaboração deste trabalho. Suas palavras de encorajamento, paciência e apoio emocional tornaram essa jornada acadêmica mais significativa e suportável. Agradeço por estar ao meu lado compartilhando não apenas os desafios, mas também os triunfos. Sua motivação e apoio foram fundamentais para evitar que eu desistisse, e sua colaboração nos estudos foi inestimável nos momentos de necessidade. Sua presença tornou esta conquista ainda mais especial.

Também não posso esquecer das minhas amigas de infância, Vivian, Marcela e Aline, que me auxiliaram no início da minha faculdade e trocaram muitas experiências comigo para que eu estar aqui nesse momento. Suas memórias compartilhadas, risos partilhados e incentivo constante trouxeram uma dimensão especial nessa caminhada.

Aos meus amigos de longa caminhada do CEFET, à Patota composta por Gabriel Mota, Gabriel Alves, Stephanie, Bruno César e Michael Douglas, expresso minha gratidão. Obrigada por estarem ao meu lado, proporcionando suporte ao longo de todo curso, compartilhando momentos de alegria e tristeza. Um agradecimento especial a Bruno César e Michael Douglas, companheiros nesta jornada desde o início até a conclusão. Mesmo diante da pandemia, encontramos formas de nos reunir, estudar e compartilhar experiências.

À Venturi Aerodesign, que se tornou uma extensão enriquecedora da minha jornada, agradeço pelas amizades que fiz pelo caminho, pelos conhecimentos e pela oportunidade de explorar áreas que antes desconhecia.

Por fim, dedico um agradecimento caloroso aos professores Brenno Tavares, Luciana Loureiro e Jonas Quirino, que desempenharam papéis fundamentais no sucesso deste projeto. Também expresso minha gratidão às professoras Caroline Ponce e Dayse Pastore, que desde o início da faculdade acreditaram em mim, incentivando-me a persistir até a conclusão desta significativa etapa da minha vida.

## **AGRADECIMENTO BRUNO CÉSAR**

Primeiramente, agradeço muito a Deus, por ter me permitido chegar até este momento, e há 7 anos ter me sustentado, me dado forças e ter me proporcionado momentos incríveis durante a faculdade.

Gostaria de agradecer a minha família, principalmente minha mãe Liliana e meu pai Marcos, meus irmãos Tiago e Bruna, em que principalmente em tempos difíceis, estiveram do meu lado, me animando, orando por mim, me incentivando e me asseguraram financeiramente todo esse tempo com muita luta e nunca reclamaram de nada, por fim, me ajudando em tudo o que eu precisava.

Não posso me esquecer da famosa "patota" composta por Agatha Silva, Michael Douglas, Gabriel Mota, Gabriel Alves, Stephanie Aguiar, Leonardo Frutuoso e Luís Tanaka, o poder de bons amigos sempre deixa o clima mais leve, e ter tido vocês do meu lado fizeram a faculdade se tornar uma ótima experiência.

Agradeço a Angélica, minha namorada, por sempre me incentivar, orar por mim, me apoiar frente a todas as dificuldades e sempre acreditar no meu potencial.

Agradeço a equipe Mudrunner, por cada momento dentro da oficina e competição, que me ajudaram a desenvolver muito profissionalmente e a conhecer pessoas incríveis durante minha trajetória.

Agradeço a todos os professores que foram essenciais para que eu chegasse até esse momento de conclusão, principalmente ao professor Jonatas Motta Quirino, que aceitou a proposta do TCC e nos apoiou com muito ânimo e sabedoria ao longo deste trabalho. Reconheço a valiosa contribuição e apoio de Brenno Tavares Duarte e da professora Luciana Loureiro da Silva Monteiro, cujo suporte no teste em laboratório foi primordial para o sucesso dos testes, e a professora Caroline Ponce que é uma professora inspiradora e exemplar, a qual tive o prazer de ganhar a amizade.

Meu muito obrigado a todos vocês, o apoio, companheirismo e um simples "ombro amigo" foram suficientes para me ajudar a seguir na luta em busca da vitória. Essa conquista também é de vocês!

## **AGRADECIMENTO MICHAEL DOUGLAS**

Com profunda gratidão, início estas palavras expressando meu agradecimento a Deus, fonte inesgotável de vida, força, energia e luz. Desde o início da minha jornada na faculdade, sua presença tem sido meu alicerce, e sem Ele, reconheço que nada seria possível.

Em seguida, dirijo meu reconhecimento aos pilares fundamentais da minha existência: meus pais e irmãos. Seu apoio incondicional, amparo constante e contribuição tanto financeira quanto emocional foram essenciais para que eu alcançasse a conclusão bem-sucedida da graduação. A cada desafio, eles estiveram ao meu lado, moldando meu caminho com amor e solidariedade.

À minha namorada Manuela Oliveira, minha gratidão transborda. Desde 2018, ela tem sido minha fonte de estímulo, constante presença nos momentos desafiadores e a força que nunca me permitiu desistir. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para o meu sucesso acadêmico.

Não posso deixar de mencionar meus amigos da faculdade Agatha José, Bruno Cesar, Gabriel Mota, Gabriel Alves, Stephanie Aguiar e Leonardo Frutuoso, verdadeiros companheiros de jornada desde o primeiro período. Sua colaboração foi crucial para superar obstáculos acadêmicos, e sem eles, a jornada até a graduação não teria sido a mesma.

À equipe Baja MudRunner, sou eternamente grato. Foi nesse ambiente dinâmico que descobri meu potencial como engenheiro, especialmente na dedicada equipe de Gestão e Suporte, onde encontrei meu propósito e desenvolvi habilidades práticas valiosas.

Um agradecimento especial se estende a Angelo Duarte Pereira e Fernando Mendonça, membros exemplares da Baja MudRunner. Seu suporte técnico durante o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi fundamental, proporcionando orientação, bibliografias e ajuda técnica que enriqueceram meu estudo.

Por fim, expresso minha gratidão ao professor Jonatas Motta Quirino, que aceitou a proposta do TCC e nos guiou com sabedoria ao longo da pesquisa. Também reconheço a valiosa contribuição de Brenno Tavares Duarte e da professora Luciana Loureiro da Silva Monteiro, cujo suporte no laboratório foi essencial para o sucesso dos testes. Seu comprometimento com o nosso aprendizado é verdadeiramente inspirador.

A todos mencionados e a tantos outros que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha jornada acadêmica, expresso meu profundo agradecimento. O sucesso desta conquista é fruto de uma rede de apoio robusta e amorosamente construída.

## RESUMO

O presente trabalho busca analisar seleção de lubrificantes para caixa de redução do veículo Mini baja SAE. Para isso foram selecionados dois lubrificantes no mercado local, baseado em estudos e benchmark com equipes de outras faculdades. Conhecendo os subsistemas do veículo, é fundamental que o projeto esteja alinhado com o time de trem de força. Além da seleção de lubrificantes, neste trabalho será citado para a caixa de redução os seguintes itens: tipos de vedação, respiro, redutores. O trabalho inclui uma revisão da literatura sobre lubrificantes, abordando sua definição, importância na redução do atrito e do desgaste, e as principais propriedades dos lubrificantes, como viscosidade, ponto de fulgor e ponto de fluidez. Além disso, foram elaborados dois testes, sendo um realizado com o apoio do SolidWorks fazendo um estudo sobre o nível de óleo indicado para a caixa de redução atual da equipe e um teste comparativo entre os dois lubrificantes em temperaturas variadas para saber como a viscosidade se comportaria em diferentes cenários termográficos. Essas informações foram fundamentais para compreender o melhor caminho para uma lubrificação com melhor desempenho para a caixa de redução.

**Palavras-chave:** Lubrificação. Caixa de redução. Seleção de lubrificantes. Mini Baja SAE. Viscosidade. Nível de óleo. Lubrificantes.

## **ABSTRACT**

This work aims to analyze the selection of lubricants for the reduction gearbox of the Mini Baja SAE vehicle. For this purpose, two lubricants were selected from the local market, based on studies and benchmarking with teams from other colleges. Understanding the vehicle's subsystems, it is crucial that the project aligns with the powertrain team. In addition to the lubricant selection, these following items will be mentioned for the reduction gearbox: types of sealing, breather, and reducers. The study includes a literature review on lubricants, telling about their definition, importance in reducing friction and wear, and the main properties of lubricants, such as viscosity, flash point, and pour point. Additionally, two tests were conducted, one supported by SolidWorks to study the recommended oil level for the team's current reduction gearbox and a comparative test between the two lubricants at various temperatures to understand how viscosity would behave in different thermographic scenarios. This information was crucial to comprehend the best approach for lubrication with improved performance for the reduction gearbox.

Keywords: Lubrication. Reduction gearbox. Lubricant selection. Mine Baja SAE. Viscosity. Oil level. Lubrificants.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Troféu melhor apresentação núcleo técnico.....	8
Figura 2: Carro da equipe MudRunner.....	9
Figura 3: Sistema de engrenagens na caixa redutora.....	10
Figura 4: Caixa Redutora Planetária.....	11
Figura 5: Redutor de roda de coroa e sem fim.....	13
Figura 6: Engrenagens roda de coroa e sem fim.....	13
Figura 7: Engrenagens cilíndricas helicoidais.....	14
Figura 8: Engrenagens cônicas.....	15
Figura 9: Caixa de redução da equipe Mudrunner posicionada no carro.....	16
Figura 10: Vista explodida da caixa de redução da equipe MudRunner.....	16
Figura 11: Válvula de respiro.....	19
Figura 12: Funcionamento Válvula de Respiro.....	19
Figura 13: Engrenagens cônicas.....	20
Figura 14: Tribômetro modelo UMT.....	27
Figura 15: Tribômetro FZG.....	29
Figura 16: Sistema de redução de Bauer et. Al. (2018).....	30
Figura 17: Detecção de calor no redutor mecânico do trabalho de Bauer et. al. (2018) por meio de câmera infravermelha e simulação CFD.....	31
Figura 18: Engrenagem e suas cotas.....	33
Figura 19: Caixa de redução da equipe MudRunner.....	34
Figura 20: Lateral esquerda sem tampa da caixa de redução da equipe Mudrunner.....	35
Figura 21: Módulos de engrenagens usados em transmissões.....	36
Figura 22: Sistema de transmissão de movimento por contato direto.....	36
Figura 23: Nível de óleo ideal na caixa de redução.....	38
Figura 24: Característica de viscosidade-temperatura para alguns óleos selecionados.....	39
Figura 25: Ilustração processo de combustão do motor MCI.....	41
Figura 26: Motor briggs and Stratton 10 HP.....	42
Figura 27: Telha inclinada para o teste.....	49
Figura 28: Comprimento da telha.....	50
Figura 29: Conjunto montado para medição do óleo (Copo medidor).....	50
Figura 30: Conjunto montado para medição do óleo (Copo medidor).....	51
Figura 31: Câmera termográfica.....	52
Figura 32: Teste viscosidade - temperatura ambiente.....	53
Figura 33: Gráfico Teste viscosidade - temperatura ambiente.....	53
Figura 34: Soprador térmico.....	54
Figura 35: Teste de viscosidade - temperatura elevada.....	55
Figura 36: Gráfico Teste de viscosidade - temperatura elevada.....	55

Figura 37: Teste de viscosidade relacionado a temperatura .....	58
Figura 38: Viscosímetro Brookfield .....	60
Figura 39: Spindle L2 .....	61
Figura 40: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W limpo .....	62
Figura 41: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W limpo .....	63
Figura 42: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W contaminado ..	64
Figura 43: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W contaminado ....	65
Figura 44: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W90 limpo.....	66
Figura 45: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W90 limpo.....	67
Figura 46: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W90 contaminado .....	68
Figura 47: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W90 contaminado	69
Figura 48: Análise do Teste de Viscosidade com Viscosímetro .....	70
Figura 49: Teste de viscosidade com Viscosímetro .....	71

## LISTA DE TABELA

Tabela 1: Legenda vista explodida caixa de redução da equipe MudRunner .....	17
Tabela 2: Propriedades do óleo SAE 80W90.....	45
Tabela 3: Propriedades do óleo SAE 80W.....	46
Tabela 4: Comparação dos testes – Temperatura ambiente.....	56
Tabela 5: Comparação dos testes – Temperatura de 60° celsius.....	56
Tabela 6: Resultados teste de viscosidade com viscosímetro óleo 80W.....	62
Tabela 7: Resultados teste de viscosidade com viscosímetro óleo 80W90.....	66

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Técnicas de detectação de impureza.....	24
Quadro 2: Processos de desgaste.....	26
Quadro 3: Modelos de tribômetros .....	28
Quadro 4: Materiais utilizados no teste de viscosidade .....	47

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1	O PROJETO BAJA SAE E SUAS COMPETIÇÕES .....	6
1.2	A MUDRUNNER .....	7
1.3	OBJETIVO.....	9
<b>2.</b>	<b>CAIXA DE REDUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
2.1	REDUTORES PLANETÁRIOS.....	11
2.2	REDUTORES DE RODA DE COROA E SEM-FIM .....	12
2.3	REDUTORES HELICOIDAIS .....	13
2.4	REDUTORES CÔNICOS .....	14
2.5	CAIXA DE REDUÇÃO DA EQUIPE MUDRUNNER.....	15
2.6	VEDAÇÃO NA CAIXA DE REDUÇÃO .....	17
2.7	SISTEMA DE RESPIRO .....	18
<b>3.</b>	<b>ÓLEO LUBRIFICANTE</b> .....	<b>20</b>
3.1	TIPOS DE LUBRIFICANTES .....	20
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES .....	21
3.3	DETECÇÃO DE IMPUREZAS.....	23
3.4	DESGASTE.....	24
3.5	TESTE DE DESGASTE.....	26
3.6	TEMPERATURA DO ÓLEO .....	29
3.7	NÍVEL DO ÓLEO .....	31
3.8	SELEÇÃO DE LUBRIFICANTES .....	38
<b>4.</b>	<b>O MOTOR OFF-ROAD</b> .....	<b>41</b>
4.1	LUBRIFICAÇÃO DE MOTORES OFF-ROAD .....	42
<b>5.</b>	<b>TESTE DE VISCOSIDADE DO OLÉO RELACIONADO A TEMPERATURA 44</b>	
5.1	OS ÓLEOS UTILIZADOS NOS TESTES.....	44
5.2	O ÓLEO SAE 80W90.....	45
5.3	O ÓLEO SAE 80W.....	45
5.4	MATERIAIS UTILIZADOS .....	46
5.5	ROTEIRO DO TESTE.....	47
5.6	O TESTE .....	48
5.7	RESULTADOS E ANÁLISES .....	55
<b>6.</b>	<b>TESTE DE VISCOSIDADE DO OLÉO REALIZADO COM VISCOSÍMETRO 58</b>	
6.1	TESTE .....	59
6.2	RESULTADOS E ANÁLISES .....	61
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>71</b>
7.1	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS .....	72

## 1. INTRODUÇÃO

O óleo lubrificante desempenha um papel crucial no funcionamento eficiente da caixa de redução. Sua presença é essencial para reduzir o atrito entre as peças móveis, garantindo um tempo de vida útil longo e melhor desempenho. Nesse projeto, destacaremos a importância do uso do óleo e analisaremos se a equipe MudRunner utiliza o melhor óleo disponível no mercado para o carro *off-road*.

### 1.1 O PROJETO BAJA SAE E SUAS COMPETIÇÕES

Projeto Baja SAE é um projeto de engenharia, cujo seu objetivo é a construção de um veículo off-road desenvolvido por estudantes de engenharia para participar da competição baja SAE (*Society of Automotive Engineers* – Sociedade de engenheiros automobilístico). Segundo Vitória Baja (2023), primeiro projeto foi criado na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, sob a direção do Dr. John F. Stevens, sendo que a primeira competição ocorreu em 1976. O ano de 1991 marcou o início das atividades da SAE BRASIL, que, em 1994, lançava o Projeto Baja SAE BRASIL.

A equipe tem como propósito primordial promover o desenvolvimento integral dos alunos de engenharia, tanto em termos profissionais quanto pessoais. Este grupo acolhe e engloba estudantes de diversas disciplinas dentro do campo da engenharia, proporcionando-lhes uma gama abrangente de ferramentas de crescimento e orientação para aplicarem de forma tangível os conceitos absorvidos em suas salas de aula. A equipe é cuidadosamente estruturada em diferentes subsistemas, abrangendo áreas como trem de força, suspensão e direção, eletrônica, projetos estruturais, ergonomia e design, freio, marketing e gestão & suporte. Cada um desses subsistemas desempenha funções específicas e sinérgicas, trabalhando em conjunto para materializar a concepção do projeto Baja e transformá-lo em realidade.

A SAE tem como função regulamentar e organizar, ao longo do ano, diversas competições entre equipes de baja, nacional e regional, buscando promover principalmente a interação entre as equipes e o desenvolvimento profissional e acadêmicos dos membros do projeto.

## 1.2 A MUDRUNNER

Situada no CEFET e nomeada como "MudRunner", esse projeto com mais de 30 anos de história é uma das equipes de destaque no Rio de Janeiro, vencedora de diversas competições estaduais promovidas pelo Baja Rio (comitê formado por ex membros de equipes de baja do Rio de Janeiro, que organizam competições e interações entre equipes do Estado), e frequentemente entre as melhores do Rio de Janeiro nas competições realizadas pela SAE.

O nome da equipe fala muito sobre a sua essência. Mudrunner, que traduzido significa "correr na lama", carrega um significado profundo para cada um de seus membros. Nenhum membro tem receio de se sujar, e todos estão constantemente prontos para colocar as mãos na massa, contribuindo de maneira esforçada para o sucesso coletivo. A disposição para enfrentar os desafios com determinação e colaboração reflete o espírito que impulsiona o time a superar obstáculos juntos. Em competições a equipe destaca-se principalmente na categoria de enduro. Nessa categoria, os veículos permanecem em atividade por algumas horas, e o vencedor é aquele que completa o maior número de voltas. Um dos ápices foi durante o Baja Rio de 2020, no qual o carro da equipe MudRunner completou 10 voltas a mais do que a equipe que conquistou o segundo lugar no enduro. É válido lembrar que outro destaque notável da equipe foi o prêmio de melhor apresentação de projeto de núcleo técnico da competição regional da SAE de 2022. Segue abaixo a Figura 1 com o troféu de melhor apresentação de projeto de núcleo técnico da regional de 2022.



**Figura 1: Troféu melhor apresentação núcleo técnico**

**Fonte: Equipe MudRunner (2023)**

Além do desempenho notável nas competições, a equipe é reconhecida pelo "bajiotismo" - um amor incondicional pelo baja. Todos os membros, tanto atuais quanto antigos, dedicam-se intensamente ao projeto. Essa dedicação não apenas fortalece o espírito da equipe, mas também desempenha um papel crucial na compensação das limitações financeiras. A equipe não dispõe de muitas bolsas estudantis, e o comprometimento dos membros e ex-membros com o "bajiotismo" contribui financeiramente por meio de arrecadações voluntárias. Essa união e comprometimento são essenciais para o sucesso contínuo da equipe Mudrunner.

A seguir, apresenta-se na Figura 2 o veículo da equipe MudRunner em ação durante uma competição nacional da SAE.



**Figura 2: Carro da equipe MudRunner**

**Fonte: Equipe MudRunner (2023)**

### 1.3 OBJETIVO

Os membros que passaram pela equipe ao longo dos anos já contribuíram com uma série de trabalhos de conclusão de curso centrados no veículo, e este projeto também se insere nesse contexto, buscando aprofundar o estudo sobre um componente fundamental do carro da equipe MudRunner, que é a caixa de redução.

A função primordial da caixa redutora, como pode ser vista na Figura 3, é reduzir a velocidade de saída gerada pelo motor. Um sistema de engrenagens posicionado entre o motor e a caixa redutora proporciona uma rotação mais lenta do eixo de saída, resultando em uma diminuição da velocidade geral.



**Figura 3: Sistema de engrenagens na caixa redutora**  
Fonte: Renew Redutores (2023)

Para garantir o desempenho eficaz da caixa de redução, é crucial manter uma lubrificação adequada. Nesse sentido, o presente trabalho consistiu em elaborar um estudo comparativo entre dois lubrificantes selecionados, o óleo SAE 80W90 e SAE 80W, através de dois testes diferentes.

O objetivo foi obter e levantar parâmetros para entender qual teria o melhor desempenho na lubrificação da caixa, realizados com o suporte do SolidWorks um cálculo sobre o nível de óleo ideal para a caixa de redução atual, e um teste para avaliar a viscosidade mais adequada em diferentes cenários termográficos, utilizando o apoio do laboratório localizado no CEFET que possui câmara termográfica.

## **2. CAIXA DE REDUÇÃO**

Esse projeto irá abordar sobre a caixa redutora, que tem como função diminuir a velocidade de saída gerada pelo motor. Nesse processo, ocorre a interposição de uma engrenagem entre o motor e a própria caixa redutora. Essa engrenagem possibilita que o eixo de saída realize rotações mais lentas, resultando em uma eficaz redução da velocidade. Em sua constituição, todas as caixas redutoras compartilham elementos fundamentais: dois eixos distintos (entrada e saída), rolamentos, engrenagens e a carcaça que as envolve.

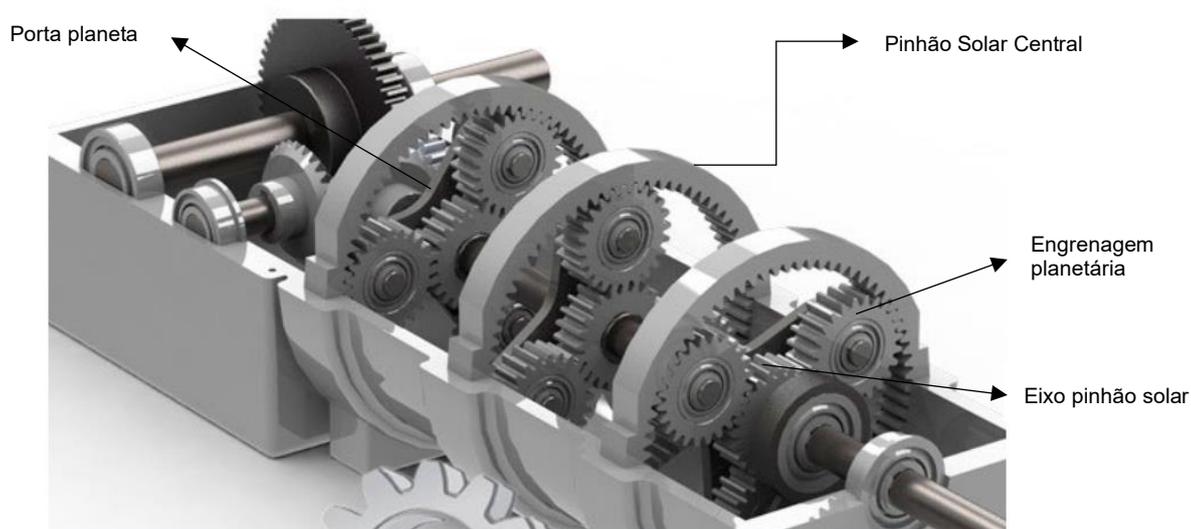
Conforme citado em Reiman (2023), existem diversos tipos de caixa de redução diferentes, dentre essas variações. Relacionado a isso, as principais caixas de redução são:

## 2.1 REDUTORES PLANETÁRIOS

Segundo o Blog Multengrenagens (2023), o redutor do tipo planetário, é composto por um pinhão solar central, que realiza o torque de entrada, e mais três engrenagens, que são chamadas planetárias. A redução de velocidade ocorre quando as engrenagens planetárias são acionadas pelo eixo pinhão solar e logo após para engrenagem anel, que passa a rotação para o porta planeta. A engrenagens planetárias estão conectadas aos porta planeta, transmitindo movimento até a parte interna do dispositivo, apoiando o movimento de torção.

Segundo Costa Junior (2013), para tais sistemas de transmissão, torna-se essencial a implementação de um mecanismo de lubrificação, visando a minimização do atrito para contribuir no resfriamento do equipamento, na eliminação de partículas indesejadas e na prevenção da oxidação, que pode resultar em corrosão.

Os redutores planetários destacam-se por sua elevada precisão, desempenho e notável resistência. Possuem baixa inércia em relação aos componentes rotativos, recomendando-se sua aplicação em cenários com acentuadas mudanças de aceleração e desaceleração. Sua capacidade de proporcionar altas relações de transmissão os torna particularmente apropriados para setores como construção civil e agricultura. Pode-se observar abaixo na Figura 4 o que são redutores planetários e seus componentes.



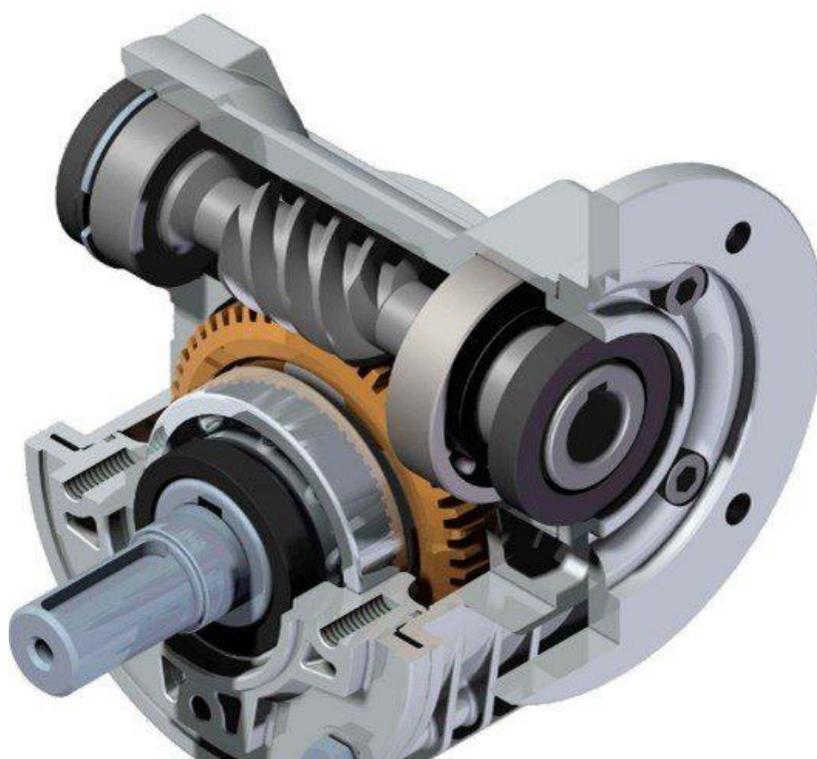
**Figura 4: Caixa Redutora Planetária**

**Fonte: MultEngrenagens (2023)**

## 2.2 REDUTORES DE RODA DE COROA E SEM-FIM

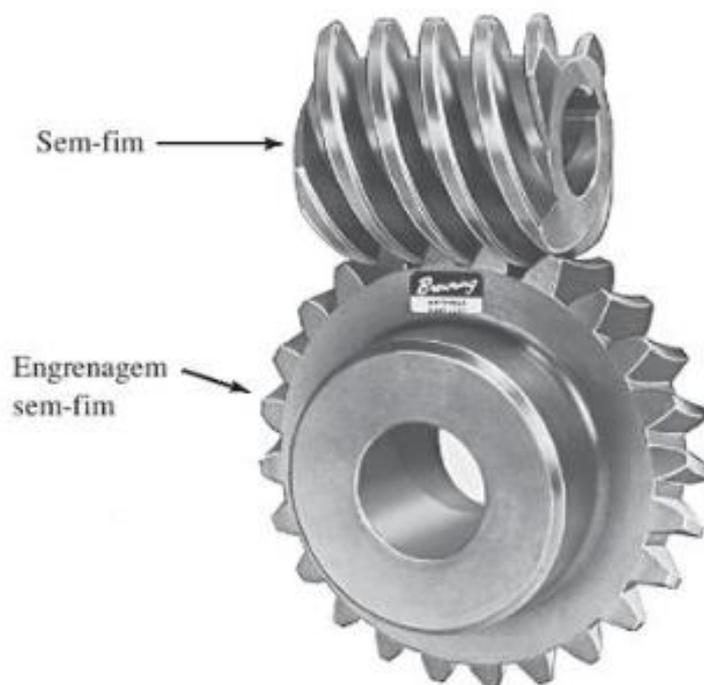
Segundo José António Almacinha (2002), engrenagem de parafuso sem fim / roda de coroa, conforme Figura 5, são utilizadas entre eixos não complanares para transmissão de um ou dois andares de redução. Os redutores de roda de coroa e sem-fim são sistemas de conversores de binário, que são compostos por um corpo que suporta uma engrenagem de parafuso sem-fim e roda de coroa.

Os redutores de roda de coroa e sem-fim encontram aplicação em situações que demandam elevada desmultiplicação, que se refere ao processo pelo qual a rotação de uma engrenagem é usada para reduzir a velocidade de rotação e aumentar o torque em um sistema mecânico. Os redutores de roda de coroa e sem-fim constituem uma solução modular que possuem a habilidade de converter energia em movimento (velocidade e torque) para diversas aplicações. Dotados de engrenagens irreversíveis, o que significa que não pode trabalhar como multiplicadora com o acionamento realizado através da roda, conferem maior segurança e seu sistema antivibratório os torna menos suscetíveis a ruídos, em comparação a outras categorias. Pode-se observar o conjunto da coroa e sem fim na Figura 6.



**Figura 5: Redutor de roda de coroa e sem fim**

Fonte: Portal Lubes (2020)

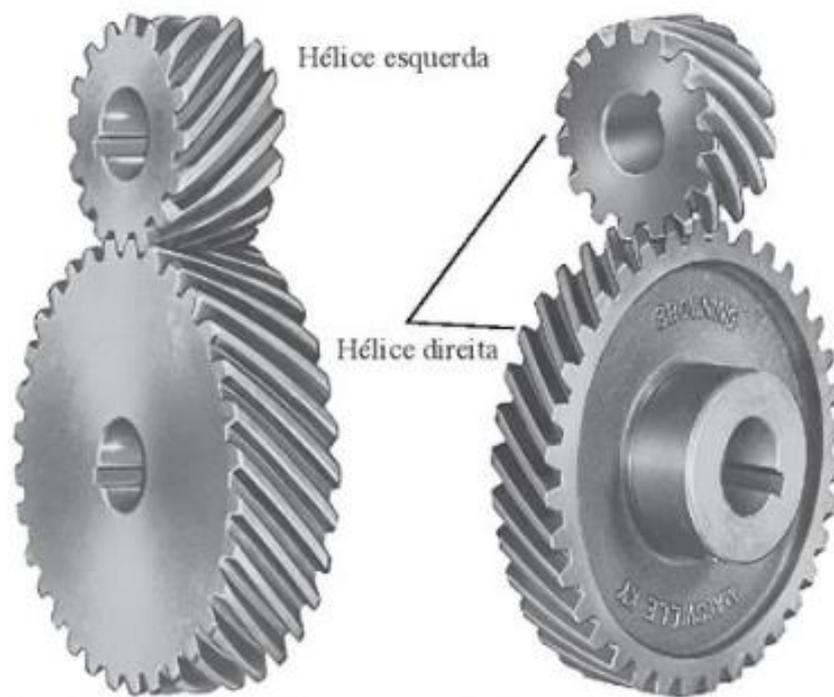


**Figura 6: Engrenagens roda de coroa e sem fim**

Fonte: Mott (2015)

### 2.3 REDUTORES HELICOIDAIS

As caixas redutoras helicoidais têm notável valor de mercado. Eficientes, sobretudo devido às engrenagens helicoidais, que segundo Mott (2015) possui maior eficiência comparado a engrenagens de dentes retos na transmissão de potência, dada a carga média nos dentes serem menor. Extensivamente empregadas em diversos setores industriais, demonstram alto rendimento na redução de velocidade. A Figura 7 demonstra as engrenagens helicoidais.



**Figura 7: Engrenagens cilíndricas helicoidais**

**Fonte: Mott (2015)**

## **2.4 REDUTORES CÔNICOS**

Conforme citado por Reiman (2023), os redutores cônicos se destacam por sua configuração em forma de cone, permitindo alterações no sistema de rotação das máquinas. Sua vantagem principal reside na eficiência das engrenagens, com potencial de até 98% de eficácia, ou seja, baixas perdas de potência. Apesar de seu tamanho compacto e robustez serem ideais para transmissões de alta potência, sua demanda por manutenção é notável. Essa engrenagem é observada na Figura 8 abaixo.

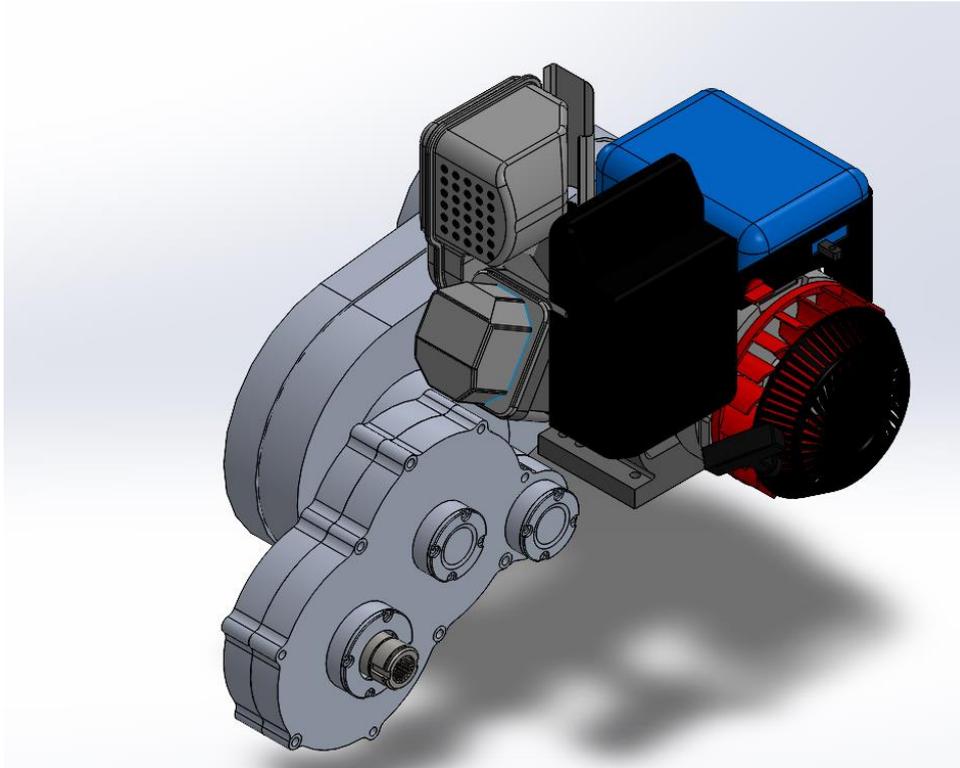


**Figura 8: Engrenagens cônicas**

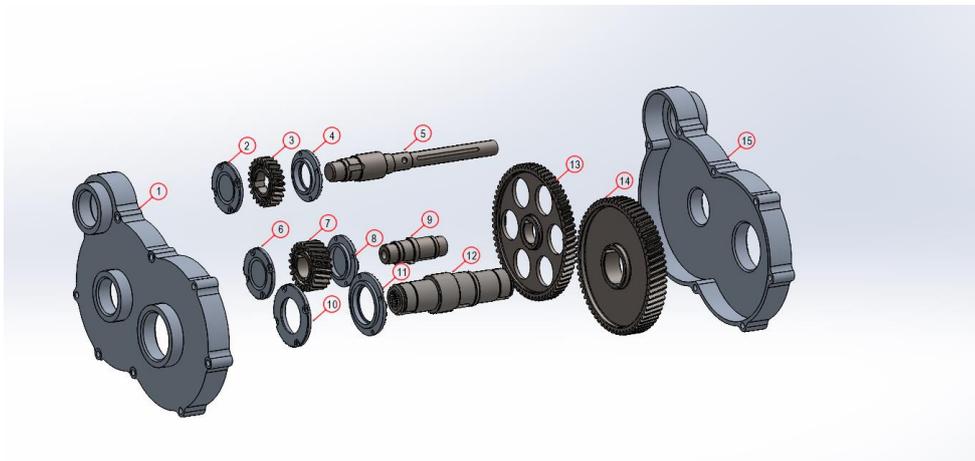
Fonte: Mott (2015)

## **2.5 CAIXA DE REDUÇÃO DA EQUIPE MUDRUNNER**

A caixa de redução da equipe MudRunner é uma caixa com dentes helicoidais, como visto anteriormente, as engrenagens são muito eficientes. Para este trabalho, será necessário conhecer os componentes da caixa da equipe, por isso abaixo a Figura 9 da caixa de redução no software de CAD 3D SolidWorks posicionada no carro e a Figura 10 da caixa com a vista explodida e a Tabela 1 de suas componentes, que será fundamental para o restante deste trabalho.



**Figura 9: Caixa de redução da equipe Mudrunner posicionada no carro**  
Fonte: Os autores (2023)



**Figura 10: Vista explodida da caixa de redução da equipe MudRunner**  
Fonte: Os autores (2023)

1	Casca da caixa lado esquerdo
2	Tampa da caixa de redução 2.1
3	Engrenagem 1
4	Tampa da caixa de redução VD CVT 1
5	Eixo cvt v3 1
6	Tampa da caixa de redução 2.2
7	Engrenagem 2
8	Tampa da caixa de redução 2.3
9	Eixo secundário
10	Tampa da caixa de redução VD eixo final 1
11	Tampa da caixa de redução VD eixo final 2
12	Eixo final
13	Engrenagem 3
14	Engrenagem 4
15	Casca da caixa lado direito

**Tabela 1: Legenda vista explodida caixa de redução da equipe MudRunner**  
**Fonte: Os autores (2023)**

## 2.6 VEDAÇÃO NA CAIXA DE REDUÇÃO

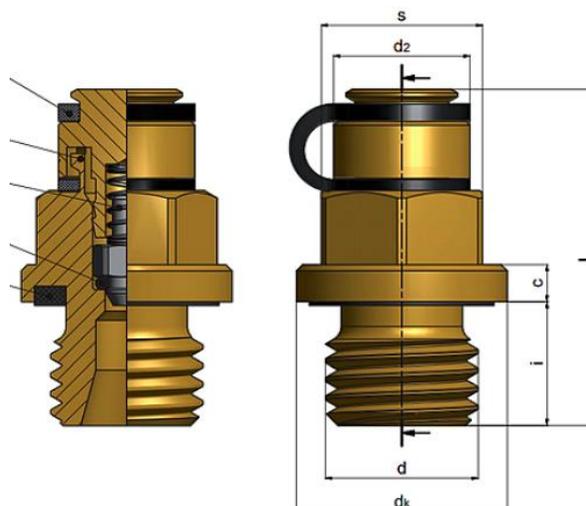
A vedação da caixa de redução está relacionada à eficiência e segurança de equipamentos que fazem uso dessas caixas. Segundo Vilmar Weber (2016), a vedação adequada de caixas de redução é essencial para evitar o vazamento dos lubrificantes, garantir o bom funcionamento dos componentes internos e evitar a contaminação do ambiente. Fatores como a qualidade das superfícies de junção, o aperto correto dos parafusos ou outros elementos de fixação, e a seleção adequada do material de vedação com base nas condições de operação, como temperatura e pressão do sistema, são de extrema importância para garantir uma vedação eficaz. Ela cumpre, na mecânica, o papel de proteger máquinas ou equipamentos contra entrada e a saída de líquidos, gases e sólidos particulados (pó).

O material entre o vedador e o que irá ser vedado precisa ser compatível para que não ocorra vazamento pela reação química deles, pois isso acarretaria em prejuízos e não funcionamento correto da caixa reductora.

## 2.7 SISTEMA DE RESPIRO

A implementação dos sistemas de vedação é essencial para prevenir o vazamento de lubrificantes na caixa de redução. Contudo, torna-se imprescindível que tais caixas incorporem um mecanismo de alívio capaz de dissipar a pressão interna, por isso utiliza-se os sistemas de respiro.

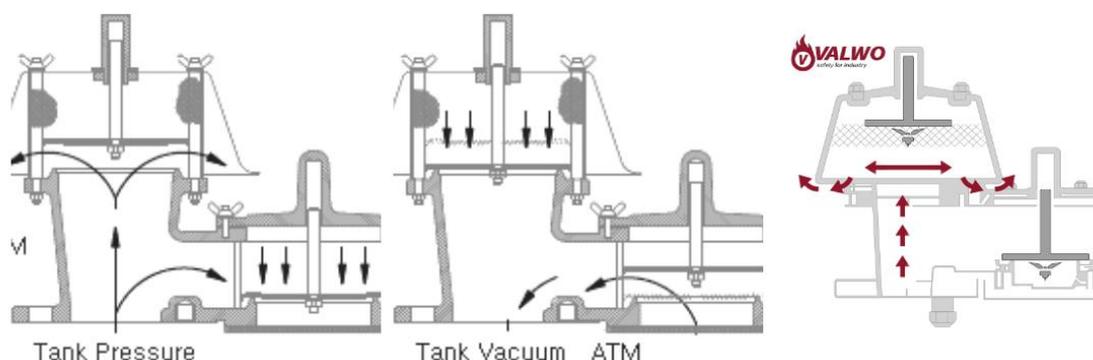
De acordo com Andreia Vital (2021), a introdução de uma válvula de respiro emerge como elemento crucial em caixas de redução. Esta desempenha um papel fundamental ao possibilitar a ventilação adequada e equalização da pressão interna e externa, prevenindo a contaminação dos componentes internos. Adicionalmente, a presença da válvula de respiro impede vazamentos de fluido, contribuindo para a extensão da vida útil do equipamento. O design da válvula visa facilitar a expulsão de ar aquecido e permitir a entrada de ar fresco, evitando a acumulação de pressão excessiva no interior da caixa de redução. Esta funcionalidade adquire relevância significativa em sistemas propensos à geração de calor, como caixas de engrenagens ou transmissões. A válvula de respiro, geralmente de pequenas dimensões, incorpora um mecanismo de abertura e fechamento responsivo às flutuações de pressão. É imperativo assegurar a limpeza e o adequado funcionamento da válvula de respiro, garantindo a correta equalização de pressão e a proteção da caixa de redução contra a introdução de contaminantes externos. Pode-se observar uma válvula de respiro na Figura 11 abaixo.



**Figura 11: Válvula de respiro**  
**Fonte: Mequipar (2023)**

De acordo com o artigo da Perfect Valve (2020), a estrutura interna da válvula de respiro é primordialmente constituída por duas componentes cruciais: a válvula inspiratória e a válvula expiratória. Estas podem ser arranjadas de maneira contígua (lado a lado) ou sobreposta.

Quando a pressão na caixa de redução se equipara à pressão atmosférica, observa-se uma operação coordenada entre o disco da válvula de pressão, a válvula de vácuo e o assento. Contudo, à medida que a pressão ou o vácuo aumentam, o disco se abre, mantendo uma vedação eficiente. Essa abertura controlada da válvula possibilita uma equalização adequada entre a pressão interna e externa, assegurando o desempenho otimizado da caixa redutora e prevenindo a entrada de contaminantes. Pode-se observar o funcionamento da válvula pela Figura 12.



**Figura 12: Funcionamento Válvula de Respiro**  
**Fonte: Dicas de Instrumentação (2022)**

### 3. ÓLEO LUBRIFICANTE

Entende-se que para garantir o desempenho ideal das engrenagens já mencionadas, a lubrificação adequada é crucial. Nesse sentido, é essencial ter uma compreensão aprofundada sobre o funcionamento dos óleos lubrificantes. Este capítulo se dedicará a explorar esse tema de maneira abrangente.

O óleo lubrificante é um fluido especializado projetado para reduzir o atrito entre as superfícies de peças móveis em máquinas e motores. Sua principal função é criar uma película protetora entre as partes em movimento, minimizando o desgaste e o calor gerados durante a operação.

Existem vários tipos de lubrificantes utilizados na indústria, que possuem características distintas que os tornam adequados para diferentes aplicações. Para o propósito deste trabalho, destacam-se os lubrificantes mineral, sintético e semissintético. Pode-se observar na Figura 13, uma imagem ilustrativa do óleo lubrificante sendo inserido em um conjunto de engrenagem.



**Figura 13: Engrenagens cônicas**  
Fonte: Cadium (2023)

#### 3.1 TIPOS DE LUBRIFICANTES

O óleo lubrificante mineral é o mais tradicional e geralmente apresenta um preço mais acessível. Ele é produzido pela combinação de óleos básicos obtidos a partir do refino do petróleo, juntamente com aditivos. Esse tipo de óleo é amplamente utilizado em veículos mais movidos a gasolina ou diesel. No entanto, em comparação

com os óleos sintéticos ou semissintéticos, o óleo mineral possui uma tecnologia inferior (STAKOVIK, 1993).

Por outro lado, o óleo lubrificante sintético é produzido por meio da combinação de óleos sintéticos obtidos por um processo de refino mais rigoroso do petróleo, junto com aditivos. Esse processo resulta em um óleo de alta qualidade e desempenho. Embora seja o tipo mais caro entre os três, o óleo sintético oferece diversas vantagens. Ele reduz a transmissão do óleo, evitando a formação de borra, e minimiza o desgaste das peças do sistema. Por esse motivo, é especialmente adequado para veículos mais modernos (STAKOVIK, 1993).

O óleo lubrificante semissintético é uma mistura de óleos básicos minerais e sintéticos, combinados com aditivos. Esse tipo de óleo possui um preço e qualidade intermediários. A tecnologia utilizada no óleo semissintético contribui para aumentar a vida útil do motor, atendendo a formação de depósitos, borra e vernizes, mesmo em condições de alta temperatura. Essa opção pode ser uma escolha equilibrada para muitos veículos (SILVA, 2021).

Em suma, os óleos lubrificantes minerais, sintéticos e semissintéticos possuem características distintas que os tornam adequados para diferentes tipos de veículos, sistemas e aplicações. A escolha correta do óleo é essencial para garantir o bom funcionamento, proteção e vida útil do motor do veículo ou sistema dinâmico.

### **3.2 CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES**

Dado os tipos de lubrificantes citados acima, deve-se também entender quais são as principais características que diferem os modelos de óleos existentes no mercado.

Os óleos lubrificantes possuem características físico-químicas que influenciam e direcionam para qual melhor aplicação, baseando-se como por exemplo o local onde serão utilizados, o tempo de uso e alguns outros fatores relevantes.

De acordo com Rocha (2022) e considerando a utilização do óleo lubrificantes para caixas de redução, tem-se como as principais características que influenciam e devem ser levadas em consideração para um melhor rendimento de trabalho:

Viscosidade: É a medida da resistência interna de um fluido (gás ou líquido) ao fluxo, ou seja, é a resistência oferecida pelo líquido quando uma camada se move em relação a uma camada subjacente. A viscosidade é a propriedade mais importante dos lubrificantes, e refere-se à resistência ao escoamento do óleo. Um óleo lubrificante deve possuir uma capacidade adequada para formar uma película entre as superfícies a serem lubrificadas. Ele não pode ser pouco viscoso, pois isso resultaria na falta de formação dessa película protetora, nem pode ser muito viscoso, pois isso criaria uma resistência excessiva, pois as superfícies ficariam muito "pesada" para movimentar entre si. A viscosidade do óleo é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, sua subida diminui à medida que a temperatura aumenta. Isso ocorre porque, com o aumento da temperatura, a emissão do fluido se move mais rapidamente, se afastando umas das outras e tornando-se menos resistente ao cisalhamento.

Índice de viscosidade: O índice de inclinação é um número dimensional que expressa a taxa de variação da inclinação do óleo em relação às variações de temperatura. Quanto maior o índice de combustível do lubrificante, menor será a variação de seu adiantamento com a mudança de temperatura.

Densidade: De acordo com De Pauli e Uliana (1997), a densidade é a relação entre a massa e o volume do óleo lubrificante. É medida em uma temperatura específica, geralmente 60°F / 60°F no sistema inglês ou 20°C / 20°C no sistema métrico. Embora a densidade tenha pouco significado em termos de qualidade do óleo, ela é frequentemente utilizada para converter volumes em massas e vice-versa. Além disso, a densidade também é importante para verificar se o lubrificante sofreu contaminação ou combustão.

Ponto de Fulgor: Segundo De Pauli e Uliana (1997), o ponto de fulgor é a temperatura mínima na qual um óleo aquecido libera vapores que podem inflamar-se em contato com uma chama. Essa propriedade é particularmente relevante o óleo será utilizado em condições de altas temperaturas.

Ponto de Fluidez: De acordo com Rocha (2022), também conhecido como ponto de gota, é a temperatura mais baixa em que o óleo pode fluir livremente. Essa

propriedade é extremamente importante quando o óleo é usado em locais com temperaturas baixas.

Resistência à Oxidação: Ainda segundo Rocha (2022), a resistência à apresentação é uma propriedade essencial para avaliar a qualidade e o desempenho do óleo lubrificante. É especialmente importante para óleos usados em altas temperaturas e/ou na presença de ar. Os óleos vegetais básicos possuem baixa resistência à oferta, sendo necessário adicionar aditivos para aumentar essa resistência.

### 3.3 DETECÇÃO DE IMPUREZAS

Um ponto importante a ser considerado no processo de lubrificação, é a quantidade de impurezas presente no óleo lubrificante. Snook (1968) pioneiramente investigou os óleos utilizados em motores, identificando a degradação e a contaminação como os principais fatores que afetam adversamente a eficiência do óleo lubrificante.

A detecção de impurezas em óleos lubrificantes é crucial para garantir que o óleo mantenha seu desempenho e proteja efetivamente as máquinas, motores, caixa de redução, entre outros componentes mecânicas. Existem várias técnicas e métodos de detecção de impurezas em óleos lubrificantes, segue abaixo, o Quadro 1 que foi elaborada com informações técnicas. A escolha da técnica dependerá das impurezas específicas que se pretende detectar e das características do sistema em que o óleo é utilizado.

Espectrometria de Emissão Ótica (ICP-OES)	Segundo labcontrol, essa técnica identifica e quantifica elementos metálicos no óleo. A presença de certos metais, como ferro, alumínio e cobre, pode indicar desgaste de componentes.
Análise de partículas (contagem de partículas)	O Grupo filtroil fala que essa técnica mede o número e tamanho das

	partículas no óleo. Aumentos significativos podem indicar desgaste ou contaminação.
Análise de partículas (Ferrografia)	OMMtec utiliza essa técnica com examinando visualmente as partículas ferrosas para entender a origem do desgaste.
Análise de Viscosidade	Variações na viscosidade podem indicar a presença de contaminantes, água ou degradação do óleo.
Espectroscopia de Infravermelho (FTIR)	O SRgrupo utiliza essa técnica identificando compostos químicos no óleo. Pode detectar a presença de água, oxidantes, aditivos e outros contaminantes.
Análise de Água	Técnicas como a Karl Fischer podem detectar a presença de água no óleo.
Análise de Óleos Usados	Comparação de amostras de óleo novo com amostras retiradas do equipamento. Mudanças significativas podem indicar problemas.

**Quadro 1: Técnicas de detecção de impureza**  
**Fonte: Criada pelos autores (2023)**

### 3.4 DESGASTE

Em relação aos componentes e estudos centrados na caixa de redução, este capítulo abordará o conceito tribológico. De acordo com o Senai (1997) no manual "Lubrificação – Mecânica", para garantir um funcionamento seguro e de alta qualidade em um sistema dinâmico, é imperativo proporcionar uma lubrificação eficaz aos itens e equipamentos que estão sujeitos ao contato e atrito durante a operação. No contexto

deste estudo, que se concentra nas engrenagens da caixa de redução, a falta de uma lubrificação adequada pode resultar em modificações adversas, como a perda de espessura e a redução do contato entre as engrenagens, entre outros problemas. Portanto, compreender os princípios tribológicos e aplicar estratégias de lubrificação adequadas é essencial para garantir o desempenho otimizado e a durabilidade do sistema.

De acordo com Scheneider et. Al. (2017), o atrito é entendido como um vetor de resistência ao deslizamento que ocorre pela interação de dois corpos, que aparece pelas irregularidades da superfície que dificultam o deslizamento. Essa forma de resistência se faz presente em uma variedade de movimentos, seja entre materiais sólidos, gases ou líquidos. Quando se refere ao movimento entre sólidos, especificamente, o atrito pode ser definido como a resistência manifestada quando um corpo é deslocado sobre outro.

Conforme destacado por Belmiro e Carreteiro (2006), o atrito desempenha um papel fundamental no desgaste das engrenagens na caixa de redução. É crucial salientar que os cálculos e dimensionamentos desse sistema são cuidadosamente elaborados para assegurar a entrega dos parâmetros esperados no projeto, tais como velocidade, torque e potência ideais. Manter as dimensões e tolerâncias dentro dos limites estabelecidos é, portanto, de extrema importância para garantir o desempenho perfeito conforme o previsto no projeto.

Segundo Belmiro e Carreteiro (2006), a lubrificação é o fenômeno responsável por reduzir o atrito entre duas superfícies em movimento relativo. Isso é alcançado por meio da introdução de substâncias lubrificantes entre essas superfícies. Os principais objetivos dessa prática incluem a minimização do aquecimento, ruído e desgaste durante o movimento dos materiais. O fluido lubrificante atua substituindo o atrito direto entre as superfícies por um chamado atrito fluido, sendo crucial que a espessura desse fluido seja superior à soma das alturas das rugosidades das superfícies em movimento.

O desgaste, por sua vez, pode ser definido como o dano progressivo a uma superfície sólida, resultante da movimentação relativa entre essa superfície e um ou vários materiais, conforme citado por Ribeiro (2004). Todos os corpos estão sujeitos a esse processo com o passar do tempo, e além do desgaste ocasionado pelo atrito, existem outros tipos com origens e formas de prevenção distintas, como apontado por Belmiro e Carreteiro (2006). No Quadro 2, pode-se ver isto:

<b>Origem</b>	<b>Definição</b>
Abrasão	Proveniente de partículas de material abrasivo (pó ou areia) contido no óleo lubrificante
Desalojamento	Consiste na remoção de metal de um ponto e sua deposição em outro
Corrosão	Acontece por conta de contaminantes ácidos
Endentação	Consequência da penetração de corpo estranho duro
Fricção	Caracterizada por endentações polidas provenientes de corrosão por vibração
Fragmentação	Produzida por instalação defeituosa
Esfoliação	Causada pela fadiga
Estriamento	Acontece pela continua passagem de fracas correntes elétricas
Cavitação	Devido ao colapso das bolhas em um fluido

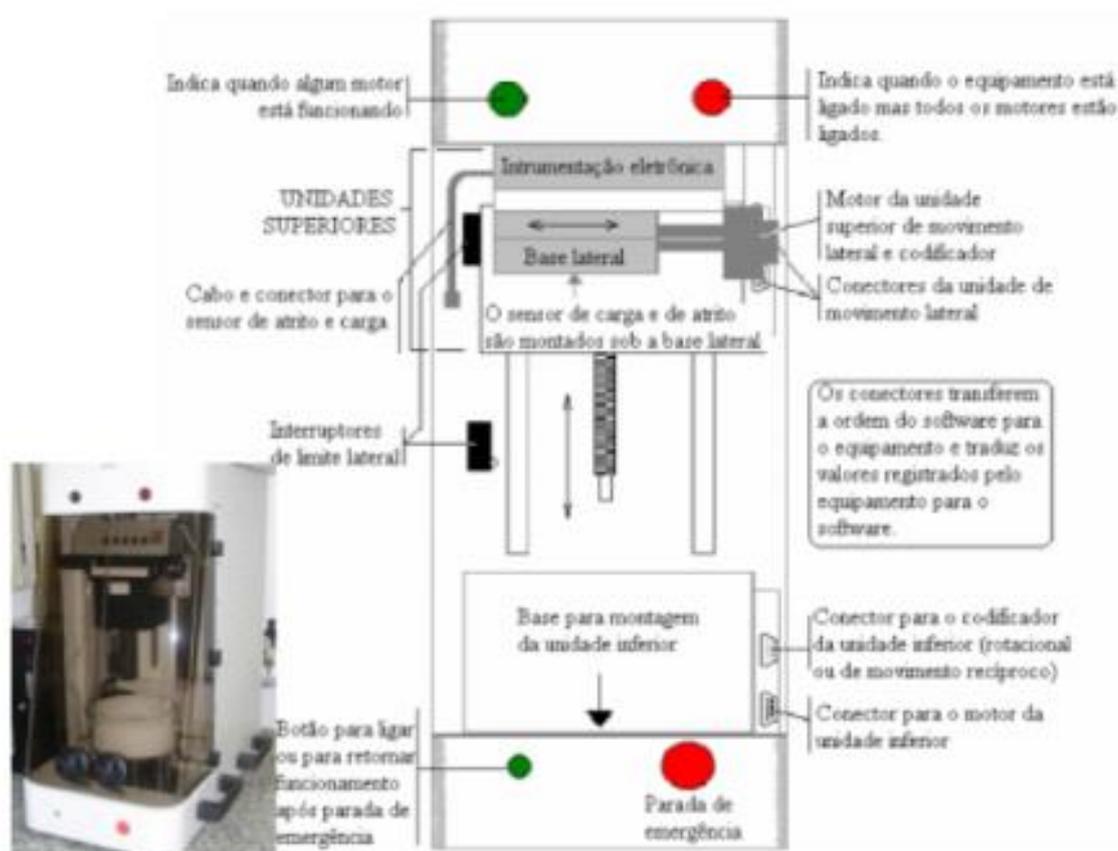
**Quadro 2: Processos de desgaste**  
**Fonte: Adaptado pelos autores de Belmiro e Carreteiro (2006)**

Segundo ABECOM (2022) o desgaste acontece naturalmente em uma caixa redutora, porém esses efeitos podem ser agravados caso não haja a lubrificação adequada, levando a degradação dos seus componentes e, conseqüentemente, levando a falha do equipamento. Tendo em vista isso, se faz necessário lubrificação ideal para evitar desgaste excessivo da caixa e degradação de seus componentes.

### **3.5 TESTE DE DESGASTE**

O teste de desgaste é realizado por um equipamento que se chama tribômetro, ele tem por objetivo medir o atrito e desgaste entre superfícies. Com esse

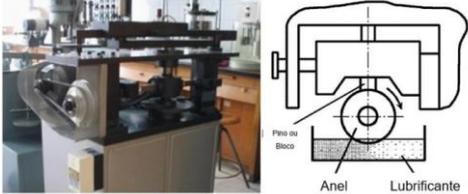
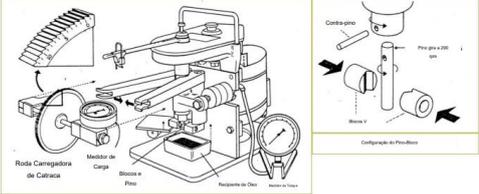
equipamento, pode-se conciliar distintos materiais, lubrificantes, unidos com diferentes cargas, velocidade, temperatura e atmosfera. Na Figura 14, pode-se observar um modelo de um tribômetro.



**Figura 14: Tribômetro modelo UMT**  
**Fonte: EngMat Soluções (2021)**

Outros modelos de tribômetros existentes no mercado, conforme pode-se analisar no Quadro 3 abaixo.

<p>Pino-disco</p>	<p>Um disco que gira em torno do próprio eixo enquanto um pino é pressionado contra a face plana do disco com uma carga controlada. São utilizadas em condições de deslizamento seco ou lubrificado</p>	
-------------------	---	--

Pino-anel ou Bloco-anel	Um anel parcialmente imerso em óleo gira em torno do próprio eixo enquanto um bloco ou um pino é pressionado, com uma carga controlada, contra a superfície curva do anel. São utilizadas em condições de deslizamento seco ou lubrificado	
Quatro-Esferas	três esferas permanecem apoiadas numa base giratória enquanto uma quarta esfera é pressionada contra elas com uma carga controlada. São utilizadas para verificar propriedades de atrito e desgaste de óleos e graxas em extrema pressão e fadiga superficial para rolamento puro	
Pino-Bloco V	um pino gira em torno do próprio eixo enquanto dois blocos "V" em posições opostas são pressionados contra o pino. São utilizados para avaliar desgaste, atrito e propriedades dos materiais e lubrificantes em condições de extrema pressão	

**Quadro 3: Modelos de tribômetros**  
**Fonte: Pedro Truppel Morim (2018)**

Segundo Lenine Marques (2021), no Centro de Pesquisa em Engrenagens e Construção de Transmissões da Universidade Técnica de Munique e (*Forschungszentrum für Zahnrad- und Getriebbau- Technische Universität München*), foi elaborado um tribômetro FZG especializado para investigar o desgaste em engrenagens. Esse tribômetro foi concebido com a finalidade de avaliar a capacidade de carga de óleos lubrificantes no contexto da lubrificação de engrenagens, esse tribômetro opera em um sistema de recirculação de potência que incorpora dois conjuntos de engrenagens dispostos em paralelo, otimizando o desgaste dos dentes das engrenagens submetidas ao teste. Assim, o tribômetro FZG

surge como uma ótima escolha para conduzir ensaios de desgaste associados a óleos lubrificantes, sendo particularmente bem adequado para análises em caixas de redução. Na figura 15, uma imagem do tribômetro FZG.



**Figura 15: Tribômetro FZG**  
**Fonte: Lenine Marques (2021)**

### 3.6 TEMPERATURA DO ÓLEO

Além da detecção de impurezas, a consideração da temperatura do óleo lubrificante é um fator essencial, pois ela altera a viscosidade. De acordo com Bogdanovich e Tkachuk (2009), na área da termotribologia, é comum distinguir três temperaturas significativas: a temperatura aparente ( $T_b$ ), representando a média da temperatura sobre um dos corpos de contato; a temperatura média de superfície ( $T_s$ ), calculada como a média da temperatura sobre a fina camada dos corpos de contato; e a temperatura instantânea ( $T_f$ ), que evidencia o aumento local de temperatura no contato devido às microasperidades nas superfícies. Entende-se que a soma dessas três temperaturas é alcançada a temperatura máxima em um contato de fricção.

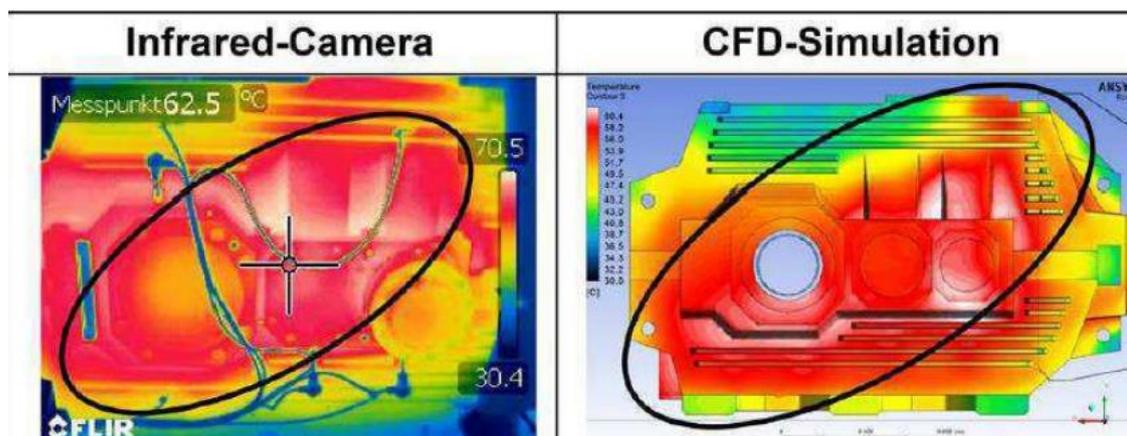
Bauer et al. (2018) mencionaram que para alcançar um equilíbrio da temperatura, é necessário adicionar um resfriamento ao redutor, pois a potência térmica limita o aumento da capacidade de potência mecânica.

A Figura 16 mostra o sistema de redução utilizado no trabalho de Bauer et. al. (2018), nela pode-se ver juntamente a carcaça, o ventilador radial e tampa guia de ar curta.



**Figura 16: Sistema de redução de Bauer et. Al. (2018)**  
**Fonte: Bauer et. Al. (2018)**

Neste conjunto, o calor é gerado no sistema pela conversão do torque e da velocidade de rotação em unidades de engrenagens cônicas e de dentes retos, causando perda de energia nas partes móveis. O calor dentro da caixa é transferido pelo óleo e sua distribuição ocorre através das engrenagens. Sem resfriamento externo, a maior parte do calor é dissipada por convecção e radiação como mostra a Figura 17, a seguir:



**Figura 17: Detecção de calor no redutor mecânico do trabalho de Bauer et. al. (2018) por meio de câmera infravermelha e simulação CFD**  
**Fonte: Bauer et. al. (2018)**

A Figura 17 exibe a distribuição abrangente de calor dentro do redutor empregando dois métodos distintos: câmera infravermelha e simulação dinâmica de fluidos computacional (CFD). A resolução para o aquecimento da caixa redutora demanda a gestão equilibrada da energia, alcançada por meio do aumento controlado da temperatura ou otimização mais eficaz da capacidade de resfriamento da superfície. Contudo, o aumento na temperatura do óleo enfrenta limitações devido aos impactos na vida útil do lubrificante e às restrições nos limites de temperatura da superfície.

### 3.7 NÍVEL DO ÓLEO

#### 3.7.1. ANÁLISE TEÓRICA

Para a lubrificação correta, entende-se também que o nível de óleo utilizado na caixa de redução é importante para atingir o melhor desempenho possível na transmissão de força.

Sabe-se que o excesso de óleo no redutor causa o aquecimento demasiado, podendo gerar desgaste prematuro nos componentes. Além disso, o aumento do óleo causa arrasto e perda de potência, reduzindo o desempenho do redutor. Também tem o risco do vazamento do óleo e a contaminação de partículas abrasivas ou

substâncias estranhas. Além disso, o nível de óleo abaixo do adequado, que pode causar aquecimento excessivo, danificando os componentes do redutor, assim, diminuindo sua vida útil.

Neste trabalho, para se calcular o volume de óleo, foram utilizadas as equações propostas por G. Niemann, conforme discutida por MAZZO (2013). Para garantir que a engrenagem esteja imersa adequadamente no óleo, foi aplicado a equação 1 para determinar a profundidade mínima ( $pri$ ) recomendada que a engrenagem deve estar mergulhada e a equação 2 para estabelecer a profundidade máxima ( $prs$ ) recomendada em que a engrenagem deve estar mergulhada.

$$pri = m + 0,5 \quad (1)$$

$$prs = 6 \times m + 0,5 \quad (2)$$

Para utilizar a equação 1 e 2, é necessário cálculo do módulo ( $m$ ) das engrenagens da caixa de redução. Segundo Mazzo (2013), o módulo ( $m$ ) de uma engrenagem é estabelecido como a proporção entre o diâmetro ( $\phi$ ) e a quantidade de dentes ( $z$ ). Por tanto, para definir o módulo ( $m$ ), é utilizada a equação 3.

$$m = \frac{\phi}{z} \quad (3)$$

É válido ressaltar que o diâmetro ( $\phi$ ) utilizado para cálculo do módulo ( $m$ ) é o diâmetro ( $\phi$ ) primitivo da engrenagem, por isso, foi medido o diâmetro ( $\phi$ ) primitivo através do SolidWorks®. Abaixo a Figura 18 mostra a forma correta de como medir o diâmetro primitivo da engrenagem.



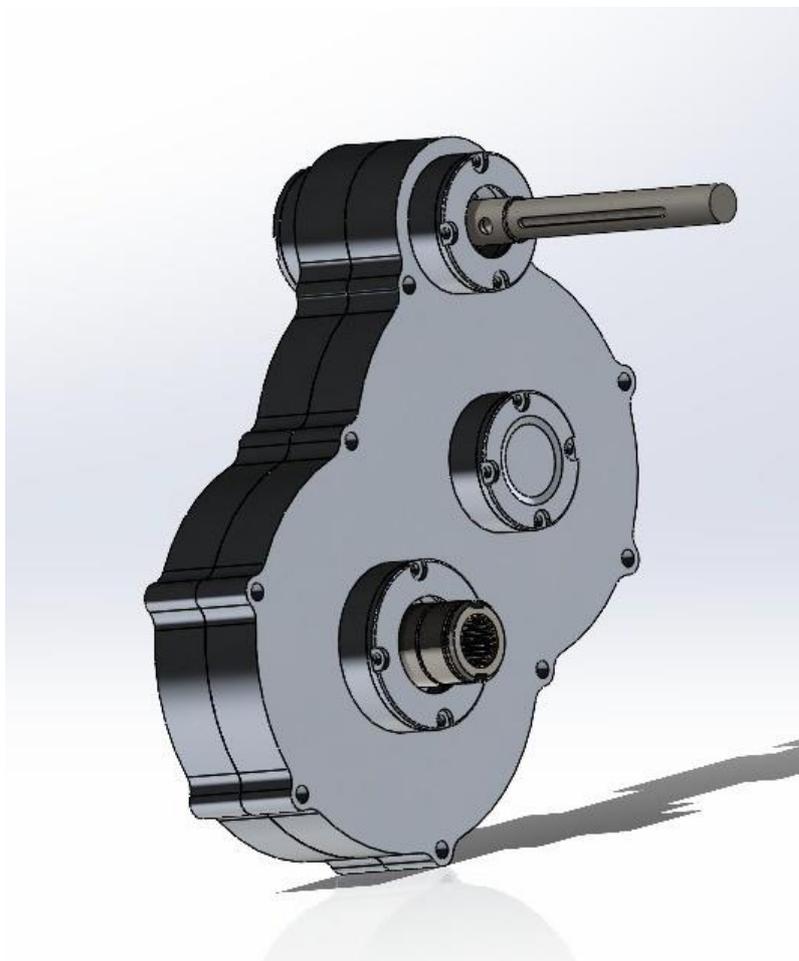
**Figura 18: Engrenagem e suas cotas**  
 Fonte: cerello.ind (2012)

Dessa forma, é assegurado que o nível de óleo seja mantido dentro dos limites ideais para o funcionamento apropriado das engrenagens.

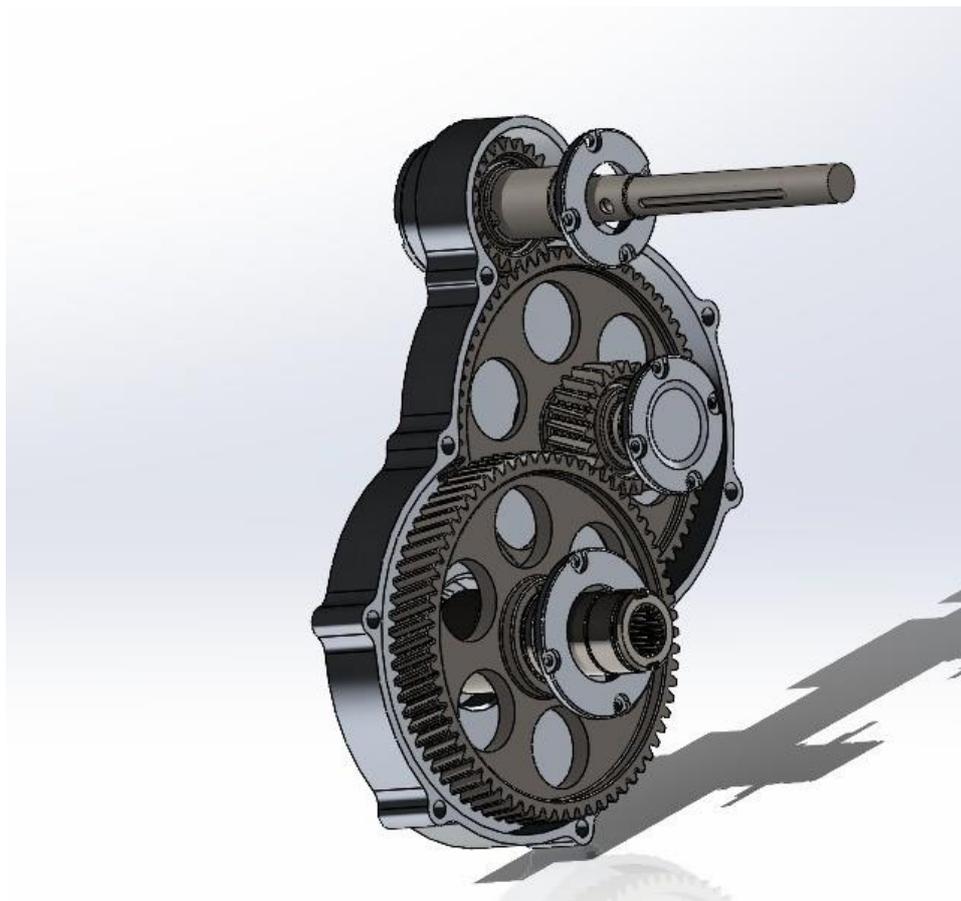
### 3.7.2. ANÁLISE PRÁTICA E TESTE DE NÍVEL DE ÓLEO

Como visto anteriormente, é muito importante determinar o nível ideal de óleo lubrificante, por isso, foi calculado o nível de óleo na caixa de redução da equipe MudRunner, pois, a equipe não tinha nenhum estudo prévio do nível de óleo. Antes de calcular o nível do óleo é importante ressaltar que devido à natureza da transmissão por engrenagens, a equipe MudRunner adota o método de lubrificação por banho de óleo. Neste processo, um volume específico de óleo é contido dentro da caixa, e as engrenagens são submersas, carregando o óleo enquanto giram. Isso ocorre devido à elevada viscosidade do óleo, proporcionando uma aderência eficaz.

Após ser verificado o tipo de lubrificação da equipe, foi calculado o nível de óleo ideal da caixa de redução. Abaixo as Figuras 19 da caixa de redução fechada e Figura 20 lateral esquerda da caixa de redução aberta da equipe MudRunner no SolidWorks®.



**Figura 19: Caixa de redução da equipe MudRunner**  
Fonte: Os autores (2023)



**Figura 20: Lateral esquerda sem tampa da caixa de redução da equipe Mudrunner**  
**Fonte: Os autores (2023)**

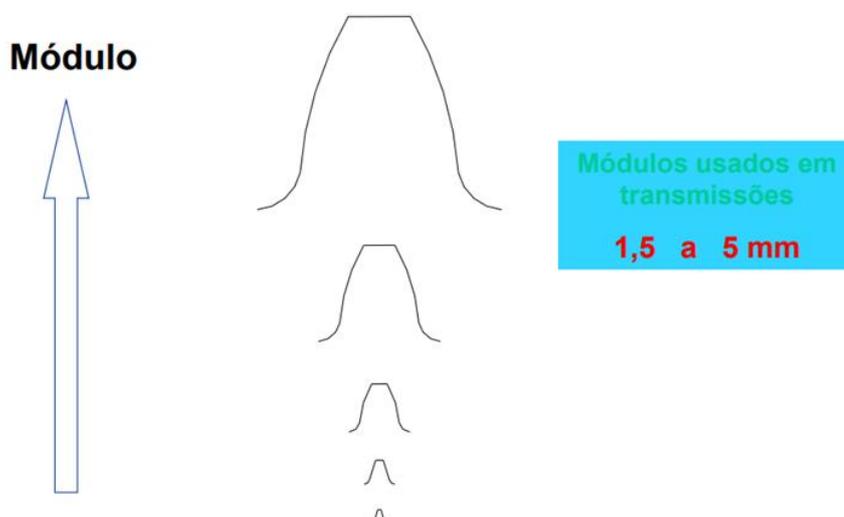
Visto como a caixa é lubrificada foi calculado o nível ideal do óleo lubrificante. Primeiro, foi calculado o módulo ( $m$ ) das engrenagens utilizando a equação 3. Substituindo as variáveis por valores na equação 3:

$$m = \frac{167}{67} \quad (3)$$

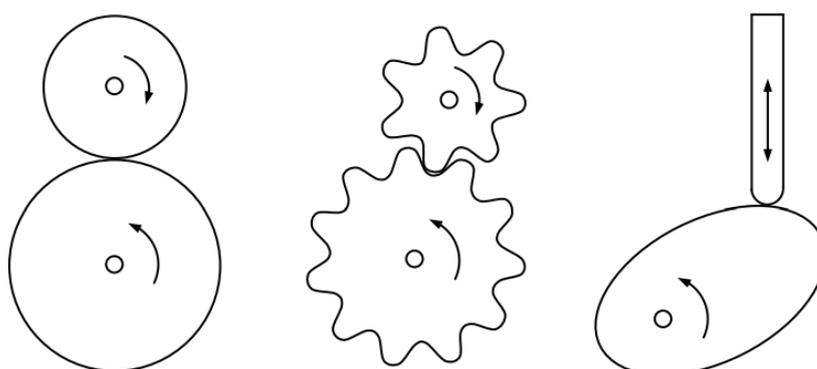
$$m = 2,5 \text{ mm} \quad (3)$$

O módulo ( $m$ ) de todas as engrenagens da caixa deram o mesmo resultado, isso em engrenagens de transmissão é correto que aconteça. Segundo Henriot, 1979; Branco et al., (2009) Para que ocorra um engrenamento eficiente entre duas rodas cilíndricas com dentes inclinados, é fundamental que ambas possuam um passo real idêntico. Em outras palavras, é essencial que compartilhem o mesmo módulo real e o mesmo ângulo de pressão real. Essa sincronização precisa entre os parâmetros dimensionais é fundamental para garantir um funcionamento harmonioso e eficaz do

sistema de engrenagem. O valor do módulo ( $m$ ) de 2,5 mm mostra que a engrenagem é de transmissão, pois, segundo departamento de engenharia mecânica da USP (2021), módulos usados em transmissão são de 1,5 a 5 mm. Abaixo a Figura 21 exibe os módulos de engrenagem usados em transmissão e a Figura 22 exibe sistemas de transmissão de movimento por contacto direto como é o caso da caixa estudada.



**Figura 21: Módulos de engrenagens usados em transmissões**  
 Fonte: Departamento engenharia mecânica USP (2021)



**Figura 22: Sistema de transmissão de movimento por contacto direto**  
 Fonte: Cinemática e dinâmica de engrenagens (2014)

Uma vez obtido o módulo ( $m$ ), foi aplicado seu valor na equação 1 para determinar a profundidade mínima ( $p_{ri}$ ) e, em seguida, o valor foi aplicado na equação

2 para obter a profundidade máxima ( $prs$ ). Substituindo as variáveis por valores nas equações 1 e 2:

$$pri = 2,5 + 0,5 \quad (1)$$

$$pri = 3 \text{ mm} \quad (1)$$

$$prs = 6 \times 2,5 + 0,5 \quad (2)$$

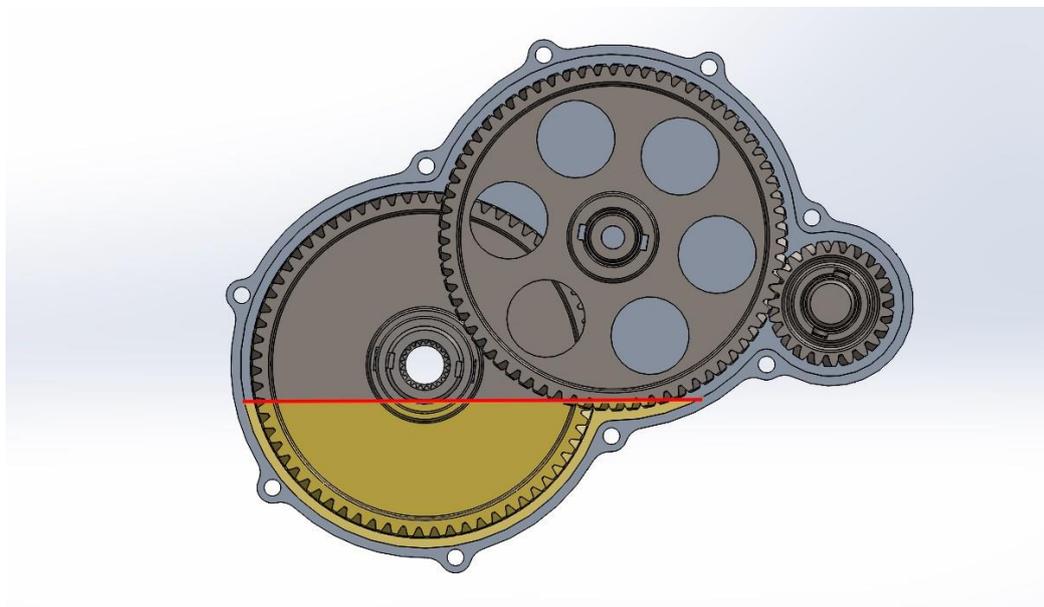
$$prs = 15,5 \text{ mm} \quad (2)$$

Os resultados indicam que a profundidade mínima ( $pri$ ) recomendado de óleo lubrificante em que a engrenagem deve estar submergida, após a aplicação da equação 1, é de 3 mm, enquanto a profundidade máxima ( $prs$ ) recomendado em que a engrenagem deve estar submergida, após a aplicação da equação 2, é de 15,5 mm.

O próximo passo consistiu na cuidadosa seleção da engrenagem ideal para determinar o volume total de óleo presente na caixa de redução. Segundo Vinícius Michalovzkey (2019), uma lubrificação eficaz do par requer apenas que uma engrenagem esteja em contato com o óleo. Assim, visando assegurar uma lubrificação adequada, foi decidido uma abordagem que permitisse que a engrenagem 1 e 2, conforme a Figura 10, fossem alcançadas pelo processo de lubrificação. Nesse contexto, foi determinado que a engrenagem 3 serviria como parâmetro para o nível de óleo na caixa.

Com o auxílio do software SolidWorks®, foi determinado o nível de óleo na caixa, assim foi traçado o nível mínimo de óleo necessário para mergulhar a engrenagem 3. Dessa forma, a engrenagem 3 desempenha a crucial função de lubrificar as engrenagens 1 e 2 por meio do método de salpico, sendo válido ressaltar que quando se menciona que a engrenagem 3 lubrifica as engrenagens 1 e 2 por salpico, significa que o nível de óleo na engrenagem 3 é mantido de forma que, durante o funcionamento do mecanismo, o óleo seja disperso ou salpicado em direção as engrenagens 1 e 2. Esse método é uma maneira eficaz de garantir a lubrificação adequada em sistemas mecânicos, especialmente em áreas onde é difícil ou impraticável fornecer lubrificação direta. Após a definição desses parâmetros, observou-se que a engrenagem 4 encontrava-se submersa em um nível de óleo superior ao valor máximo recomendado, conforme calculado anteriormente. Entretanto, dado que a rotação do eixo final não atinge valores excessivamente elevados (sua rotação é de aproximadamente 471 rpm), o excesso de óleo não terá impacto significativo no aumento da inércia do sistema. Sendo assim, considerando

todos esses parâmetros e o tamanho da caixa de redução, o volume ideal de óleo na caixa é de 500 ml. Abaixo a figura 17 de uma ilustração no SolidWorks® de como a caixa de redução ficará com volume ideal de óleo lubrificante.



**Figura 23: Nível de óleo ideal na caixa de redução**  
Fonte: Os autores (2023)

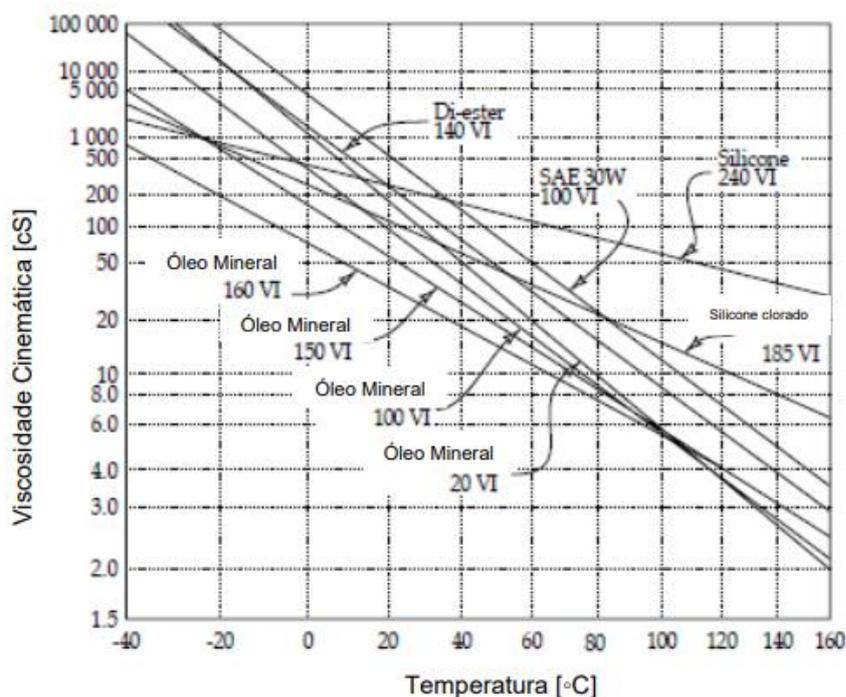
Ao contrastarmos com o nível de óleo previamente estabelecido, a MudRunner já empregava a mesma quantidade de óleo que foi meticulosamente calculada neste estudo. Contudo, anteriormente, não havia um estudo documentado para embasar essa escolha; a prática era sustentada por informações transmitidas por membros antigos da equipe. Portanto, caso houvesse alguma alteração no projeto da caixa, a equipe não dispunha de parâmetros precisos para calcular o nível de óleo ideal.

No entanto, a presente literatura proporciona a base necessária para realizar esse cálculo de forma fundamentada. Conseqüentemente, o nível de óleo ideal para a caixa foi devidamente calculado e corroborado, fornecendo à equipe uma referência sólida e confiável para futuras modificações no projeto.

### 3.8 SELEÇÃO DE LUBRIFICANTES

Segundo Stachowiak e Batchelor (1993) os fatores que alteram a viscosidade de um lubrificante são a temperatura, taxa de cisalhamento e pressão. Óleos de maior viscosidade necessitam de maior poder de cisalhamento devido à presença de uma película de óleo, gerando assim mais calor, pois é necessária mais energia para romper esta película de óleo, aumentando também a temperatura das superfícies de contato, o que pode causar falha no componente.

Também como base Stachowiak e Batchelor (1993) a viscosidade é um dos principais fatores no momento de escolher o lubrificante que irá trazer mais benefício. Com a variação da viscosidade com a temperatura é possível encontrar o índice de viscosidade, conforme mostra a Figura 24 abaixo.



**Figura 24: Característica de viscosidade-temperatura para alguns óleos selecionados**  
**Fonte: Stachowiak e Batchelor (1993)**

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), a viscosidade é uma propriedade tão importante de um lubrificante, que a SAE desenvolveu a SAE J300, que classifica os óleos por faixa de viscosidade. Eles são divididos em dois grupos: os de viscosidade única, que é reconhecido por apenas um número, por exemplo “10W”, e os de multiviscosidade, reconhecidos os dois números, por exemplo “15W40”. Esse último,

o “15W” faz referência na temperatura a frio, já o “40” faz referência na temperatura já está quente.

De acordo com o Senai – Programa de Certificação de Pessoal da Manutenção - Noções Básicas de Elementos de Máquinas (1996), se for realizada mudança da viscosidade do óleo, poderá melhorar ou piorar algum fator, tem-se que analisar para que esse óleo tenha essas modificações.

Após análise dos óleos, podem ser concluídas duas situações:

Redução da viscosidade: ocasionada por contaminação por combustível ou outros produtos menos viscosos;

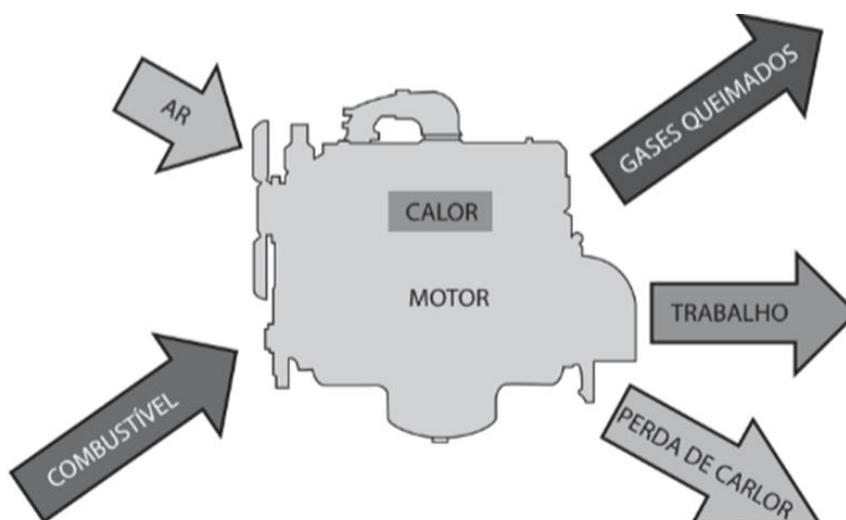
Aumento da viscosidade: poderá indicar a oxidação do óleo, presença de água, de sólidos em suspensão ou contaminação com outro óleo mais viscoso.

De acordo com Carreteiro e Belmiro (2006), a classificação API (American Petroleum Institute) determina um conjunto de testes para definir quais menores níveis de atividade para o óleo lubrificante. Esta classificação é alterada de acordo com a necessidade para diminuir os níveis de emissão de gases e do consumo de combustível. As leis obrigam os fabricantes a desenvolverem motores mais eficientes e, conseqüentemente, precisam de lubrificantes inovadores.

#### 4. O MOTOR OFF-ROAD

A definição de “*off-road*” vem do inglês “fora da estrada”. Os modelos off-roads são desenvolvidos para veículos que andam em estradas que não são pavimentadas e que possuem vários obstáculos, com difícil acesso.

Segundo Brunetti (2012), máquinas térmicas são dispositivos que realizam a transformação do calor em um trabalho, e este calor pode vir através de várias fontes como: combustão, energia elétrica, energia atômica, etc. A Figura 25 mostra o processo de combustão de um motor.



**Figura 25: Ilustração processo de combustão do motor MCI**  
**Fonte: Brunetti (2012)**

O trabalho é obtido por uma série de processos que uma substância chamada “Fluído ativo (FA)”, no modelo apresentada na imagem acima, o FA é formado pela mistura de ar e combustível na entrada do volume de controle e produtos na combustão de saída.

Os motores utilizados em ambientes automotivos off-roads são do tipo MCI, que significa motores de combustão interna, nesses modelos o FA participaram diretamente da combustão.

Para as competições realizadas pela SAE para os protótipos bajas, os motores usados pelas equipes são padronizados e seguem o mesmo modelo, o regulamento permite e indica que se utilize motores do tipo Briggs & Stratton, 4 tempos, monocilíndrico, com potência de 10HP, sendo eles da Briggs & Stratton OHV Intek Model 20 (série 20) ou Briggs & Stratton OHV Vanguard Model 19 (série 19),

ilustrado na Figura 26. Os únicos números de modelo aceitáveis são: 205432, 205437, 205332 e 20S232, 19L232- 0054-G1.

Segundo o regulamento das competições regulamentadas pela SAE, o motor utilizado deve ter seus componentes originais em todos os aspectos, desconsiderando pouquíssimas exceções especificadas em seu regulamento.



**Figura 26: Motor briggs and Stratton 10 HP**  
Fonte: Briggs and Stratton (2023)

#### 4.1 LUBRIFICAÇÃO DE MOTORES OFF-ROAD

Atualmente existem diferentes tipos de motores para carros Off-Road, com isso, cada tipo exige uma lubrificação adequada de acordo com o necessário.

Segundo Carreiro e Belmiro (2006) com o avanço da indústria, foram surgindo motores menores, conseqüentemente, trabalhando com maior temperatura

e pressão interna. Dessa forma, foram necessárias pesquisas que melhorassem cada vez mais o consumo de combustível.

Em motores de quatro tempos, o óleo lubrificante é armazenado no cárter e o foi sob pressão através de galerias existentes no motor. Todos os óleos de motor estão sujeitos a muitas tensões durante o uso, por consequência, isso acaba alterando as propriedades de maneira negativa quando combinados com degradação térmica e esgotamento de aditivos (The International Council on Combustion Engines, 2011).

De acordo com o Blog SELFCAR (2018), a diferença na forma como os motores a diesel e a gasolina realizam o ciclo de combustão afeta vários fatores, entre eles a explosão no motor. A explosão no motor a diesel tem maior duração, porém com menor intensidade, fazendo com que o torque seja maior, tornando-os ideais para veículos pesados ou off-road. Já a explosão no motor a gasolina tem menor duração e maior intensidade, tornando o torque menor o que gera mais energia, ideal para ser utilizado em alta velocidade.

O lubrificante utilizado no motor deve atender a todos os requisitos de lubrificação dos variados pares de tribologia do motor, mesmo que os requisitos possam diferir para cada par de tribologia. Como se sabe, o par tribológico formado pelo anel de pistão e pelo espelho do cilindro opera entre os regimes de lubrificação limite e hidrodinâmico. Já os mancais de apoio do virabrequim e os mancais de apoio da biela operam com lubrificação hidrodinâmica. O ajuste de fricção formado pela superfície do came e pelo tucho da válvula opera lubrificando a oscilação entre a linha limite e o misto.

Todos os óleos de motor estão sujeitos a altas tensões durante o seu uso. Isso quando combinado com a degradação térmica e a redução de aditivos, as propriedades de um óleo mudam de forma indesejável. Segundo The Internacional Council on Combustion Engines (2011), em relação às propriedades já citadas, pode ocorrer nos óleos usados: Alteração da viscosidade, Contaminação, Diminuição do Total Base Number (TBN), Aumento do Total Acid Number (TAN), Presença de água, Alteração do ponto de fulgor, Metais de desgaste, Oxidação, Sulfatação, Nitração e Fuligem.

## 5. TESTE DE VISCOSIDADE DO OLÉO RELACIONADO A TEMPERATURA

Este teste teve o intuito de uma forma simples realizar um estudo e análise de que maneira a viscosidade dos óleos SAE 80W e SAE 80W-90 reagem com a mudança de temperatura de trabalho, para entender e considerando as variações de temperatura que ocorrem nas caixas de reduções enquanto o carro está em atividade qual seria a melhor opção de lubrificante considerando somente o fator de viscosidade e profundidade que estes óleos possam alcançar dentro do menor tempo possível.

Vale ressaltar que este é um trabalho experimental, não considerando fatores como pressão e rugosidade das peças, por conta da dificuldade de ensaiar estes testes considerando um cenário mais próximo do real.

### 5.1 OS ÓLEOS UTILIZADOS NOS TESTES

Para este trabalho, baseando-se em estudos e *benchmark* com equipes de outras faculdades, foram selecionados dois tipos de óleos diferentes: O SAE 80W90 e 80W.

O óleo SAE 80W90 foi escolhido após um *benchmark* realizado com os membros da equipe Vitória baja, que ficaram em primeiro lugar na prova de embate durante a competição nacional da SAE em 2022. Esta competição singular envolve a disputa entre dois carros de duas equipes em um percurso, onde o veículo que cruza a linha de chegada primeiro avança para a próxima fase. A equipe Vitória Baja não apenas conquistou o título nessa prova, destacando-se na avaliação da performance do trem de força, mas também obteve um desempenho notável em outras etapas do Nacional de 2022.

Motivados pelos resultados positivos, conduziu-se um benchmarking aprofundado com a equipe para identificar o óleo utilizado na lubrificação da caixa de redução. Importante mencionar que, no TCC "Redutor de Engrenagens para Veículo Mini Baja SAE" (2019), o ex-membro Vinícius Michalovzkey destacou a utilização deste óleo específico. Sua escolha fundamenta-se na adequação do óleo SAE 80W90 para transmissões sujeitas a grandes pressões e impactos, evidenciando sua eficácia em ambientes desafiadores, conforme observado nas competições baja SAE.

Por outro lado, o óleo SAE 80W é o óleo escolhido pela equipe MudRunner nos últimos anos para ser utilizado na lubrificação da caixa de redução da equipe, o mesmo foi selecionado após uma reunião de antigos membros da equipe, e utilizando de pesquisas e com suporte de catálogos da Lubrax desse modelo de óleo, entenderam que este seria o mais adequado para a lubrificação da caixa, vem se passando os anos e esta escolha ainda é viva na equipe e nas últimas competições realizadas pela SAE Brasil este óleo foi utilizado para a lubrificação.

Por esses motivos, o presente trabalho tem como objetivo analisar e estudar as diferenças de performance que estes óleos lubrificantes têm na ação de lubrificar as caixas de redução, para isso foi realizado um teste de viscosidade para entender o quão o desempenho varia com as variações termográficas.

## 5.2 O ÓLEO SAE 80W90

Para informações técnicas, foi utilizado catálogos disponibilizados pelos fornecedores em seus sites, abaixo temos a Tabela 2 que expõe suas principais características:

Propriedades	80w90
Índice de Viscosidade	105
Ponto de fulgor	202
Ponto de fluidez	-30
Densidade	0,90
Tipo de óleo	Mineral

**Tabela 2: Propriedades do óleo SAE 80W90**  
Fonte: Catálogo da Lubrax (2023)

## 5.3 O ÓLEO SAE 80W

Também foi utilizado os catálogos disponibilizados pelos fornecedores em seus sites para conseguir as especificações técnicas, abaixo temos a Tabela 3 que expõe suas principais características:

Propriedades	80w
Índice de Viscosidade	105
Ponto de fulgor	244
Ponto de fluidez	-30
Densidade	0,889
Tipo de óleo	Mineral

**Tabela 3: Propriedades do óleo SAE 80W**  
**Fonte: Catálogo da Lubrax (2023)**

#### 5.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Segue na tabela abaixo quais materiais foram utilizados e seus respectivas responsabilidades:

Itens	Nome	Objetivo
1	Óleo SAE 80W	Material a ser analisado
2	Óleo SAE 80W90	Material a ser analisado
3	Soprador térmico	Alterar temperatura do óleo
4	Copo métrico	Mensurar quantidade de óleo
5	Trena métrica	Medir variação de espaço percorrido
6	Telha	Superfície onde o óleo percorreu
7	Relógio	Medir variação de tempo percorrido
8	Câmera fotográfica	Gravar mídia do teste
9	Câmara termográfica	Registrar temperatura do óleo

10	Termômetro	Medir a temperatura do óleo
----	------------	-----------------------------

**Quadro 4: Materiais utilizados no teste de viscosidade**

Fonte: Os autores (2023)

## 5.5 ROTEIRO DO TESTE

Conforme abordado no capítulo 3.8 e mencionado por Stachowiak e Batchelor (1993), a viscosidade de um óleo lubrificante varia com a mudança de temperatura. Nesse contexto, esperava-se que os dois tipos de lubrificantes utilizados no teste apresentassem comportamento semelhante ao serem aquecidos. A previsão era de que ambos experimentassem uma redução na viscosidade, resultando em um tempo de percurso na telha inferior em comparação com o teste em temperatura ambiente. Isso serviria como evidência para a teoria dos fluidos newtonianos, sugerindo que ambos os fluidos teriam o mesmo comportamento em diferentes temperaturas.

Adicionalmente, previa-se que, à temperatura ambiente, ambos os lubrificantes percorressem os pontos iniciais e finais da telha em tempos muito próximos. Essa expectativa baseava-se em suas classificações à temperatura a frio, uma vez que ambos os óleos lubrificantes pertencem à categoria 80W. Para que o teste seja eficaz, foi despejado no percurso a mesma quantidade de óleo em temperaturas similares.

### 5.5.1. TESTE COM TEMPERATURA AMBIENTE

- a. Foi realizado um procedimento de limpeza com um pano seco a superfície da telha que será utilizada;
- b. Com um copo medidor para cada tipo de óleo, foi separado 100 ml de cada um e colocado dentro do conjunto montado com o copo medidor;
- c. Os copos e a sua base foram posicionados em uma bancada;
- d. Os dois tipos de lubrificantes foram aplicados de forma conjunta em caminhos diferentes na mesma telha;
- e. O tempo de chegada no ponto final da primeira parte de cada óleo lubrificante foi marcado por um cronômetro;

- f. Foi registrado o tempo final de chegada de todo o óleo jogado no início do percurso da telha.

#### 5.5.2. TESTE COM TEMPERATURA ELEVADA

- a. Foi realizado um procedimento de limpeza com um pano seco a superfície da telha que será utilizada;
- b. Com um copo medidor para cada tipo de óleo, foi separado 100 ml de cada um e foi utilizado um soprador térmico para alcançar a temperatura de 60° Celsius nos óleos;
- c. Os copos e a sua base foram posicionados em uma bancada;
- d. Os dois tipos de lubrificantes foram aplicados de forma conjunta em caminhos diferentes na mesma telha;
- e. O tempo de chegada no ponto final da primeira parte de cada óleo lubrificante foi marcado por um cronômetro;
- f. Foi registrado o tempo final de chegada de todo o óleo jogado no início do percurso da telha.

### 5.6 O TESTE

Inicialmente, a telha foi selecionada e sua superfície, destinada à passagem do óleo, foi cuidadosamente limpa com um pano seco. O objetivo desse procedimento era eliminar qualquer vestígio de material ou sujeira que pudesse obstruir ou interferir no fluxo do lubrificante. Posteriormente, a telha foi disposta em dois degraus de maneira a garantir que, ao despejar os dois óleos, eles fluíssem com a mesma inclinação, aspecto fundamental para a consistência do teste.

É importante ressaltar que a inclinação da telha não desempenha um papel crucial no teste, uma vez que, na lubrificação da caixa de redução da equipe MudRunner, a angulação na qual o fluido é introduzido não afeta sua lubrificação. Isso se deve ao fato de que o óleo é inserido no ponto de lubrificação, e as engrenagens 3 e 4 são lubrificadas por gravidade, enquanto a engrenagem 3 realiza a lubrificação

das engrenagens 1 e 2 por meio de salpico. A Figura 27 abaixo ilustra como a telha foi posicionada para o teste:



**Figura 27: Telha inclinada para o teste**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Com o apoio da trena, foi medido o comprimento que o óleo se deslocaria na telha, foi encontrado 270mm, conforme pode ser visto na Figura 28 abaixo:



**Figura 28: Comprimento da telha**  
Fonte: Os autores (2023)

Para fins do teste, foi criado um conjunto formado por uma base de madeira e dois copos medidores, foi inserido 100 ml de cada tipo de lubrificante, conforme pode ser visto na Figura 29, para ser realizado o primeiro teste.



**Figura 29: Conjunto montado para medição do óleo (Copo medidor)**  
Fonte: Os autores (2023)

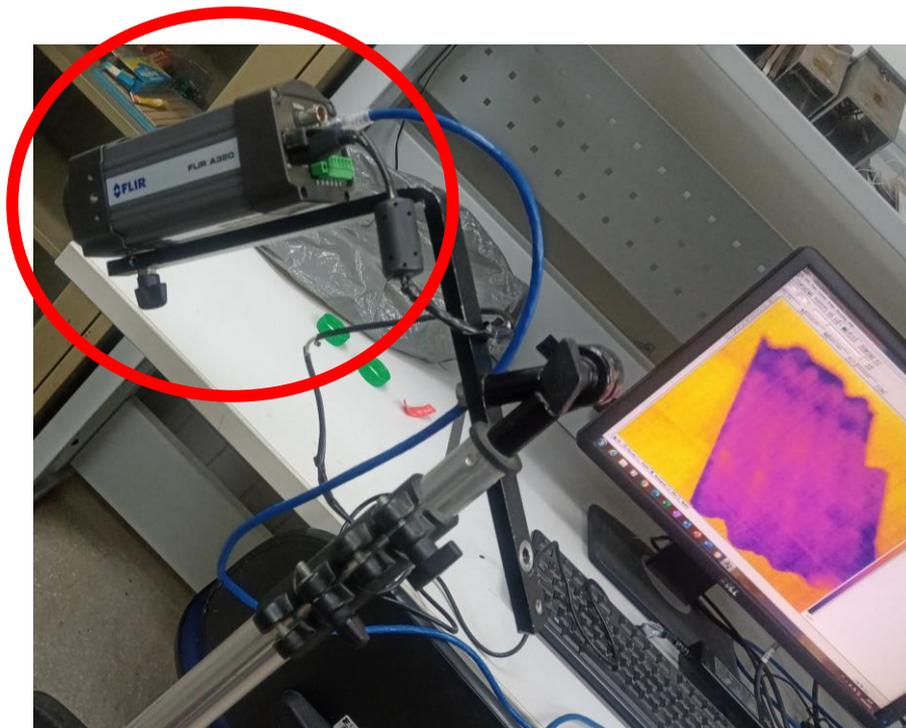


(a)

(b)

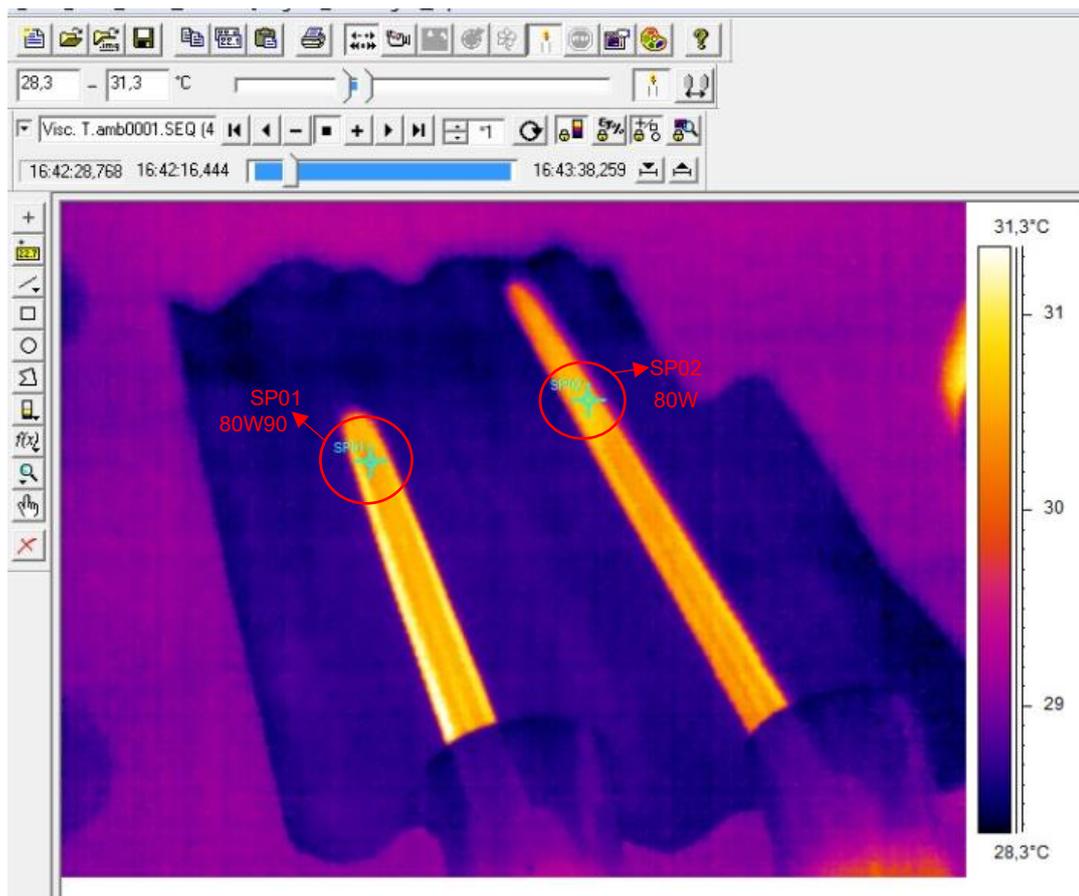
**Figura 30: Conjunto montado para medição do óleo (Copo medidor)**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Inicialmente, o teste foi conduzido considerando a temperatura ambiente, acompanhando o deslocamento dos lubrificantes pela extensão da telha. Utilizando uma câmera termográfica, conforme Figura 31, registrou-se uma média de temperatura de 30° Celsius. Durante o percurso sobre a telha, as variações térmicas foram observadas, decorrentes da interação do óleo lubrificante com o ambiente circundante e do próprio trabalho realizado.

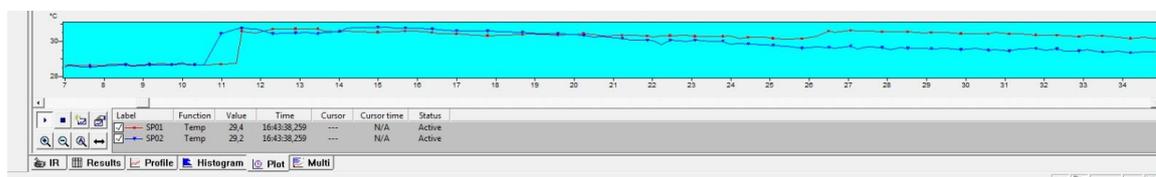


**Figura 31: Câmera termográfica**  
**Fonte: Os autores (2023)**

O óleo 80w90, identificado como SP1 na Figura 32, deu início ao trajeto com 30,5° Celsius, apresentando oscilações térmicas ao longo do percurso, conforme demonstrado no gráfico correspondente da Figura 33. É crucial destacar que essas oscilações foram extremamente sutis, sendo inferiores a 1° Celsius. Por outro lado, o óleo 80W, representado como SP2 na mesma Figura 32, iniciou o percurso com 30,7° Celsius, também com variações térmicas menores que 1° Celsius, como ilustrado no respectivo gráfico. A representação gráfica desses dados pode ser visualizada na Figura 33 abaixo:



**Figura 32: Teste viscosidade - temperatura ambiente**  
**Fonte: Os autores (2023)**



**Figura 33: Gráfico Teste viscosidade - temperatura ambiente**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Na Figura 33, as oscilações térmicas dos óleos ao longo do percurso são claramente exibidas no gráfico. A imagem também inclui uma captura termográfica, destacando o momento em que o óleo 80W se aproxima do final do trajeto. Assim, com base nessa representação visual, é possível concluir que o 80W atingiu o destino antes do 80W90. Isso sugere que o 80W é menos viscoso em temperaturas ambiente, uma inferência extraída da análise térmica apresentada.

No segundo teste, com o apoio de um soprador térmico, foi realizado um aquecimento nos óleos lubrificantes, com o intuito de elevar a temperatura de ambos para 60° celsius, temperatura semelhante à da caixa de redução enquanto ela está

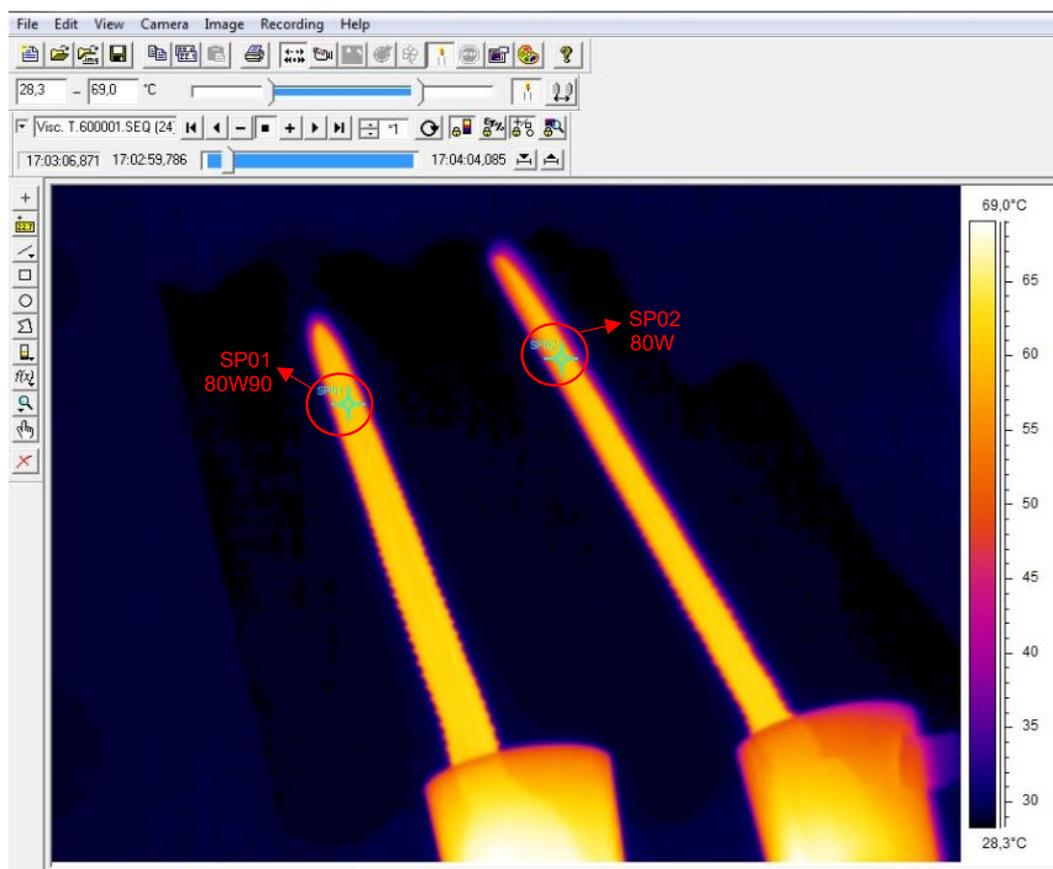
realizando trabalho. 3 minutos foi necessário para cada óleo afim que se chegasse na temperatura ideal, com o apoio de um termômetro conseguimos controlar e atingir o objetivo.

Após o aquecimento, realizado pelo soprador térmico ilustrado pela Figura 34 os lubrificantes foram novamente derramados na telha.

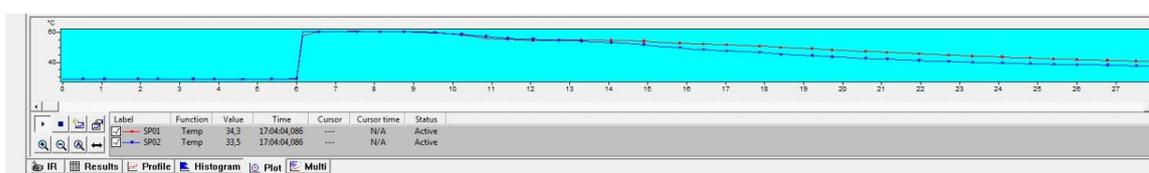


**Figura 34: Soprador térmico**  
Fonte: Os autores (2023)

Conforme dito, a média da temperatura neste teste foi de 60° celsius, porém para o teste em temperatura ambiente, por conta da troca de calor do óleo lubrificante entre a telha e o próprio ar ambiente, houve pequenas variações da temperatura, o óleo 80w90, designado como SP1 na Figura 35, deu início à sua jornada com uma temperatura de 60° Celsius. Ao longo do percurso, apresentou flutuações térmicas, como indicado no gráfico correspondente à Figura 36, e finalizou a trajetória atingindo 60,4° Celsius. Em paralelo, o óleo 80W, representado como SP2 na mesma Figura 35, começou sua rota com 60° Celsius, demonstrando variações térmicas ao longo do caminho, conforme ilustrado no gráfico associado à Figura 36, e concluiu a jornada com 60,4° Celsius. É relevante destacar que, no início do gráfico, observa-se um pico de temperatura, o qual se deve à temperatura da telha sem a presença de óleo. Quando o óleo entra em contato com a telha, esse pico de temperatura ocorre em decorrência da influência térmica do óleo.



**Figura 35: Teste de viscosidade - temperatura elevada**  
**Fonte: Os autores (2023)**



**Figura 36: Gráfico Teste de viscosidade - temperatura elevada**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Na Figura 36, destaca-se uma imagem termográfica capturada no exato momento em que o óleo 80W conclui o percurso antes do óleo 80W90. Tal como evidenciado na Figura 32, o óleo 80W novamente demonstrou sua capacidade de atingir o término do percurso primeiro, mesmo sob temperaturas mais elevadas.

## 5.7 RESULTADOS E ANÁLISES

Em temperatura ambiente, notou-se que no óleo 80W chegou primeiro ao fim do percurso do que no óleo 80W90, o 80W levou cerca de 4,4 segundos para atingir o ponto final, e cerca de 46 segundos para chegar todo o óleo derramado. Por outro lado, no óleo 80W90, levou cerca de 6 segundos para atingir o mesmo ponto final, e cerca de 66,4 segundos para que escorresse todo o óleo depositado na parte superior da telha, conforme a Tabela 4.

<b>Tipo de óleo</b>	<b>Tempo chegada no ponto final</b>	<b>Tempo de chegada de todo óleo</b>
80W	4,4 segundos	46 segundos
80W 90	6 segundos	66,4 segundos

**Tabela 4: Comparação dos testes – Temperatura ambiente**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Em temperaturas elevadas, com os óleos lubrificantes aquecidos em torno de 60° Celsius, que é aproximadamente a temperatura que a caixa redutora alcança, conforme citado anteriormente no capítulo 3, índice 3.6 - Temperatura do óleo, notou-se que no óleo 80W e o óleo 80W40 tiveram uma velocidade mais próxima do que quando o óleo estava em temperatura ambiente. O óleo chegou primeiro ao fim do percurso do que no óleo 80W90, o 80W levou cerca de 3,2 segundos para atingir o ponto final, e cerca de 36 segundos para chegar todo o óleo derramado. Por outro lado, no óleo 80W90, levou cerca de 3,8 segundos para atingir o mesmo ponto final, e cerca de 49 segundos para que escorresse todo o óleo depositado na parte superior da telha, conforme a Tabela 5.

<b>Tipo de óleo</b>	<b>Tempo chegada no ponto final</b>	<b>Tempo de chegada de todo óleo</b>
80W	3,2 segundos	36 segundos
80W 90	3,8 segundos	49 segundos

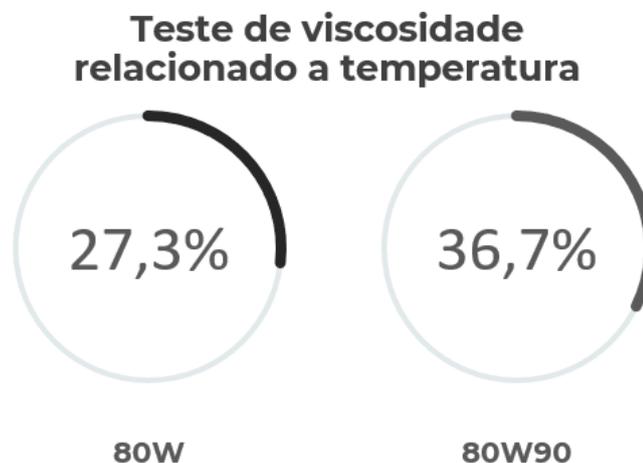
**Tabela 5: Comparação dos testes – Temperatura de 60° celsius**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Diante deste contexto, ficou demonstrado que os óleos lubrificantes 80W e 80W90 exibem características de fluidos newtonianos. Ao serem aquecidos em comparação com a temperatura ambiente, ambos apresentaram um deslocamento mais rápido ao longo da mesma distância, evidenciando uma menor viscosidade.

Adicionalmente, é possível afirmar que, em temperatura ambiente, ambos os lubrificantes alcançaram o ponto final em tempos bastante próximos, corroborando a expectativa de que, por serem classificados como 80W em temperaturas frias, compartilhariam características semelhantes nesse cenário. No entanto, a previsão de que o tempo de deslocamento de toda a quantidade despejada seria também bastante próximo não se concretizou durante o teste.

Notavelmente, tanto em temperaturas ambiente quanto elevadas, o óleo 80W demonstrou uma velocidade superior ao percorrer a trajetória na telha, considerando a totalidade dos 100 ml despejados. Esse resultado destaca que existe uma diferença pequena na fluidez entre estes dois fluidos.

Portanto, comparando os dois lubrificantes, chega-se à conclusão de que o óleo 80W sofreu uma redução de tempo de chegada de 27,3% quando comparado a temperatura elevada. Já o 80W90 sofreu uma redução do tempo de chegada de 36,7% em relação a ele aquecido, como pode ser analisado na Figura 37.



**Figura 37: Teste de viscosidade relacionado a temperatura**  
Fonte: Os autores (2023)

## 6. TESTE DE VISCOSIDADE DO OLÉO REALIZADO COM VISCOSÍMETRO

O propósito desta análise consistiu em avaliar o desempenho dos lubrificantes já testados anteriormente, nomeadamente os óleos 80W e 80W90, em condições distintas. A finalidade deste teste era observar o comportamento da viscosidade em duas situações distintas para cada óleo. Cada amostra foi composta por uma porção do óleo 80W em seu estado puro, ou seja, recém tirado da embalagem, e outra porção do mesmo óleo em um estado contaminado (usado). O mesmo procedimento foi aplicado às amostras do óleo 80W90. Para conduzir essa análise, foi utilizado o viscosímetro Brookfield e *spindle* L2.

- a. Junto com a orientadora do teste, foi selecionado o *spindle* adequado para conseguir identificar a viscosidade de forma correta, pois se o *spindle* errado for selecionado, a viscosidade pode ser informada com algum erro
- b. Para selecionar o *spindle* correto, é necessário saber a viscosidade dinâmica, porém os fabricantes só disponibilizam a viscosidade cinemática. Então para encontrar a viscosidade necessária para o teste, foi usada a viscosidade cinemática sobre a densidade.

- c. Logo após, é necessário configurar o RPM, inserir o copo medidor com o óleo a ser analisado no equipamento e dar início ao teste.

## 6.1 TESTE

O experimento foi conduzido utilizando os mesmos lubrificantes do teste anterior, o 80W e o 80W90 das respectivas Figuras 30. Contudo, desta vez, a análise foi realizada tanto com óleo usado (contaminado) quanto com óleo puro. Para avaliar o comportamento da viscosidade do óleo e identificar possíveis variações decorrentes do estado de utilização, empregou-se o viscosímetro Brookfield.

Inicialmente, os óleos foram cuidadosamente alocados em copos medidores distintos, conforme exemplificado na Figura 29. Posteriormente, procedeu-se ao cálculo da viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) dos óleos, um passo essencial para a escolha apropriada do spindle. A abordagem adotada utilizou a equação 4, extraída da literatura "Introdução à Mecânica de Fluidos" da USP. Nesse contexto, a viscosidade cinemática ( $\nu$ ), conforme indicada no manual do fabricante, foi multiplicada pelo peso específico ( $\rho$ ), também obtido do mesmo manual. Essa metodologia proporcionou uma base sólida e precisa, respaldando assim a seleção criteriosa do spindle para o experimento em questão.

$$\mu = \nu \times \rho \quad (4)$$

Uma vez calculada a viscosidade dinâmica, o *spindle* L2 foi escolhido como o mais apropriado para o teste, levando em consideração tanto o seu tamanho quanto a sua rotação. A seguir as Figuras 38 do viscosímetro e 39 do *spindle* usados no teste.



**Figura 38: Viscosímetro Brookfield**  
**Fonte: Os autores (2023)**



**Figura 39: Spindle L2**  
**Fonte: Os autores (2023)**

## 6.2 RESULTADOS E ANÁLISES

O experimento foi iniciado com o óleo 80W, submergindo inicialmente o *spindle* no óleo limpo a 100 RPM, resultando em 48,5% de torque. Posteriormente, a rotação foi reduzida para 60 RPM, com o objetivo de identificar possíveis alterações na viscosidade. Considerando ser um fluido newtoniano, a viscosidade deveria permanecer constante mesmo diante da variação de RPM. O valor obtido para o óleo 80W limpo situou-se entre 140 e 145 mPa.s (milipascal segundo), evidenciando a consistência do fluido diante das condições de teste.

Ao realizar o teste com o mesmo óleo, porém utilizado ou contaminado, observou-se um aumento nos valores de viscosidade, situando-se na faixa de 163 a 173 mPa.s. Em termos simples, o óleo em utilização demonstrou uma viscosidade mais elevada em comparação com o óleo novo. A seguir, apresentam-se as figuras resultantes do experimento, juntamente com a tabela contendo os valores obtidos.

Este aumento na viscosidade ao longo do uso pode indicar alterações nas propriedades do óleo, sendo um ponto de interesse para análise e avaliação do desempenho do lubrificante em condições reais de operação.

80w	Viscosidade	Unidade de medida
Puro	140 - 145	mPas
Contaminado	163 - 173	mPas

**Tabela 6: Resultados teste de viscosidade com viscosímetro óleo 80W**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Na Figura 40, o teste foi conduzido com o óleo 80W limpo, utilizando o viscosímetro Brookfield e o *spindle* L2 a uma rotação de 100 RPM. Durante esse teste, o *spindle* foi imerso no óleo, mantendo uma rotação constante de 100 RPM, e proporcionou um valor de 145 mPa.s para a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ).



**Figura 40: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W limpo**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Na Figura 41, realizou-se o teste com o óleo 80W limpo, utilizando o viscosímetro Brookfield e o *spindle* L2, porém com uma rotação de 60 RPM. A expectativa era que a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) se mantivesse a mesma ou muito

próxima àquela obtida a 100 RPM, uma vez que se trata de um fluido newtoniano. Em diferentes rotações aplicadas ao mesmo fluido newtoniano, espera-se um valor constante para a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ).



**Figura 41: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W limpo**  
**Fonte: Os autores (2023)**

A expectativa que os valores de viscosidade fossem o mesmo ou muito semelhantes foi confirmada pelos resultados do teste, onde o valor obtido a 60 RPM foi muito próximo do valor obtido a 100 RPM. Em números, o teste a 100 RPM resultou em 145 mPa.s de viscosidade dinâmica, enquanto a 60 RPM apresentou um valor de 140 mPa.s. Essa consistência entre os resultados reforça a natureza newtoniana dos fluidos em questão.

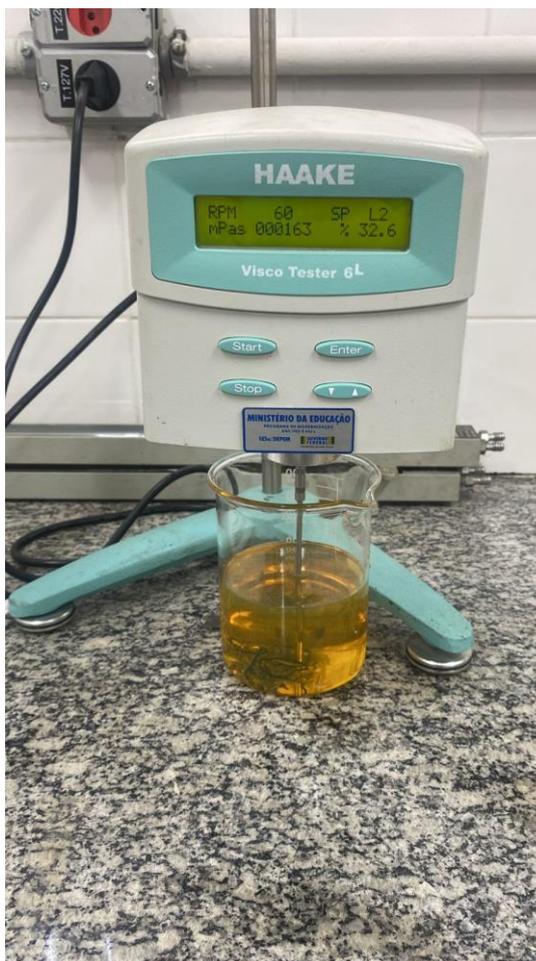
Neste teste da figura 42, foram mantidas as condições mencionadas no teste anterior, utilizando o mesmo óleo, ou seja, o óleo 80W, com o spindle L2 a 100 RPM, no viscosímetro Brookfield. A distinção foi no fato de que, desta vez, optou-se pelo uso do óleo contaminado, visando analisar como sua viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) se

comportaria sob as condições mencionadas. Observou-se um aumento na viscosidade, atingindo o valor de 173 mPa.s sob as mesmas condições mencionadas anteriormente. Este resultado destaca como a presença de contaminantes pode significativamente impactar a viscosidade do óleo em análise.



**Figura 42: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W contaminado**  
Fonte: Os autores (2023)

O teste subsequente apresentado na figura 43, foi conduzido sob as mesmas condições do experimento anterior, contudo com uma rotação de 60 RPM do *spindle* L2. Antecipava-se que a viscosidade apresentasse valores iguais ou semelhantes aos do teste precedente, e, de fato, os resultados se aproximaram muito do esperado. Isso mais uma vez corrobora a classificação do óleo 80W como um fluido newtoniano. A viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) registrada foi de 173 mPa.s, enquanto no teste anterior a 100 RPM era de 163 mPa.s. Essa proximidade entre os valores obtidos valida a consistência do comportamento do óleo, independentemente da variação na rotação do *spindle* L2.



**Figura 43: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W contaminado**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Nos ensaios com o óleo 80W90, o mesmo spindle L2, a mesma variação de RPM e o viscosímetro idêntico foram empregados. Contudo, de maneira surpreendente, o teste revelou um comportamento distinto do lubrificante. Ao medir a viscosidade do lubrificante novo ou limpo, obteve-se uma viscosidade situada na faixa de 262 a 265 mPa.s. Em contrapartida, ao avaliar o óleo lubrificante contaminado, a viscosidade variou entre 243 mPa.s e 244 mPa.s, demonstrando o efeito oposto ao observado no teste anterior. Em outras palavras, este experimento indicou que a viscosidade do óleo contaminado é inferior à do óleo novo. Abaixo seguem as figuras do experimento com resultados e a tabela com os valores.

80w90	Viscosidade	Unidade de medida
-------	-------------	-------------------

Limpo	262 - 265	mPas
Contaminado	244 - 252	mPas

**Tabela 7: Resultados teste de viscosidade com viscosímetro óleo 80W90**  
**Fonte: Os autores (2023)**

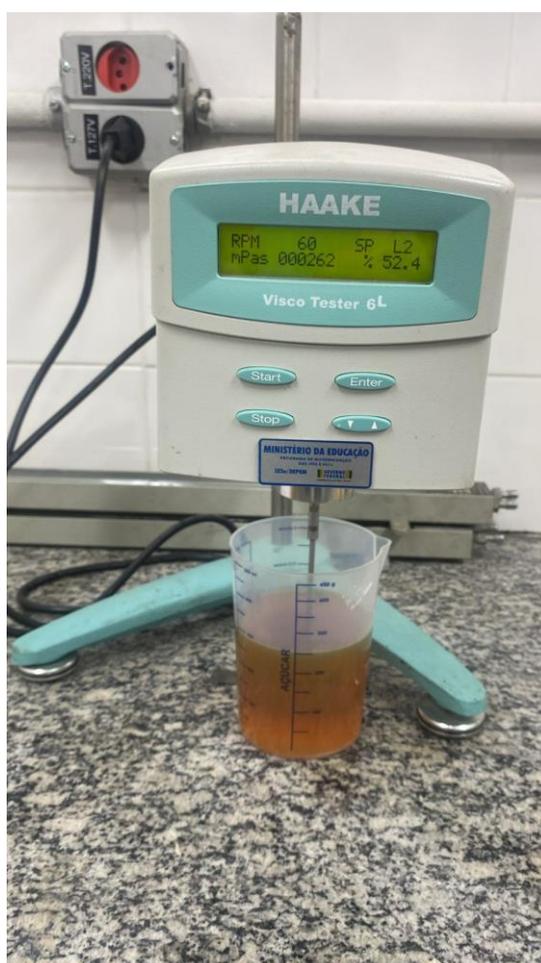
Neste teste subsequente da figura 44, empregou-se novamente o viscosímetro Brookfield, juntamente com o spindle L2, mantendo com a rotação de 100 RPM, porém desta vez no óleo 80W90 puro. Ao imergir o *spindle* L2 nesse óleo 80W90 puro, obteve-se uma viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) de 265 mPa.s.



**Figura 44: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W90 limpo**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Neste teste adicional da figura 45, também se optou pelo uso do óleo 80W90 puro, empregando o *spindle* L2, mas desta vez com a rotação reduzida para 60 RPM.

A expectativa era que a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) fornecesse valores iguais ou muito próximos aos do teste anterior. Essa previsão concretizou-se, corroborando que o óleo 80W90 exibe comportamento de fluido newtoniano, assim como o 80W. Anteriormente, a 100 RPM, registrou-se um valor de 265 mPa.s, enquanto a 60 RPM, obteve-se um valor de 262 mPa.s. Essa proximidade e consistência entre os resultados confirmam a natureza newtoniana do óleo 80W90, reforçando sua previsibilidade em diferentes condições de teste.



**Figura 45: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W90 limpo**  
Fonte: Os autores (2023)

Na Figura 46, o teste foi conduzido no óleo 80W90, desta vez, porém, utilizando o óleo contaminado. Vale ressaltar que também foi realizado com o *spindle* L2 submerso a 100 RPM. O valor da viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) registrado foi de 252 mPa.s, indicando uma redução na viscosidade em comparação ao teste com óleo limpo. O objetivo deste teste era avaliar o comportamento da viscosidade ao comparar óleo usado com óleo puro. Era esperado que ambos os óleos apresentassem o

mesmo padrão de comportamento. No entanto, verificou-se que o óleo 80W reduziu sua viscosidade quando contaminado em comparação com o limpo. Por outro lado, o óleo 80W90 mostrou um aumento na viscosidade, o que também está em conformidade com a literatura técnica, especificamente o Senai – Programa de Certificação de Pessoal da Manutenção - Noções Básicas de Elementos de Máquinas (1996), que menciona que a impureza do óleo pode tanto aumentar quanto diminuir a viscosidade. Esses aspectos foram abordados no capítulo 3.8.



**Figura 46: Resultado teste de viscosidade com 100 RPM óleo 80W90 contaminado**  
Fonte: Os autores (2023)

Na Figura 47, foram mantidos os parâmetros do teste anterior, utilizando o óleo 80W90 também contaminado. Neste teste, a rotação do *spindle* foi reduzida de 100 RPM para 60 RPM. A expectativa era que os valores da viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) fossem iguais ou muito semelhantes, o que se confirmou. A 100 RPM, obteve-se um valor de 252 mPa.s, enquanto a 60 RPM, o valor foi de 244 mPa.s, demonstrando mais uma vez que o óleo 80W90 exibe comportamento newtoniano e que mesmo em

condições de impureza apresenta resultados consistentes com o esperado. Essa consistência destaca a previsibilidade do óleo 80W90 em diferentes condições de teste.



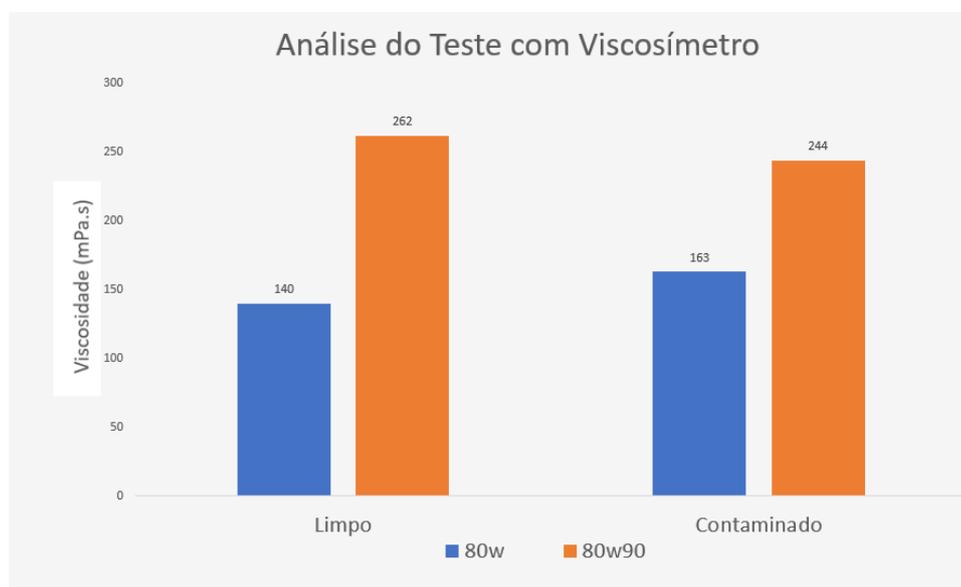
**Figura 47: Resultado teste de viscosidade com 60 RPM óleo 80W90 contaminado**  
**Fonte: Os autores (2023)**

Após a realização desses testes, é evidente que a contaminação no óleo lubrificante provoca alterações na viscosidade em comparação com o fluido totalmente puro, recém-fabricado, independentemente da rotação empregada.

No caso do óleo 80W, a presença de contaminantes resultou em um aumento na viscosidade, sugerindo possíveis causas como oxidação do óleo, presença de água, sólidos em suspensão ou contaminação com outro óleo mais viscoso, conforme mencionado no capítulo 3.8. Uma investigação mais aprofundada, especialmente na análise de impurezas do óleo, é necessária para compreender precisamente os fatores que contribuíram para essa variação. Sugerem-se estudos futuros nesse sentido.

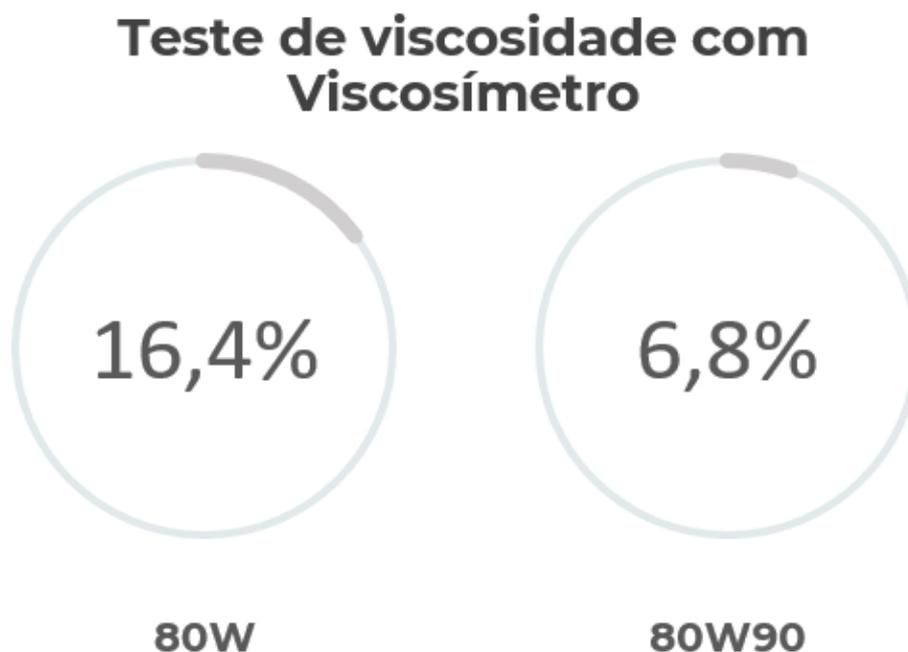
Por outro lado, o óleo contaminado 80W90 revelou uma redução na viscosidade em comparação com o óleo puro, como também discutido no capítulo 3.8. Essa variação pode ser atribuída à contaminação por combustível e/ou outros produtos menos viscosos. Assim como no caso do óleo 80W, uma análise detalhada das impurezas é recomendada para uma compreensão mais precisa dos elementos responsáveis por essa alteração.

Na Figura 48, tem-se a análise comparativa de viscosidade entre os lubrificantes puros e contaminados. Já na figura 49, é porcentagem a diferença em porcentagem entre o óleo sujo e limpo. O quanto o



**Figura 48: Análise do Teste de Viscosidade com Viscosímetro**  
Fonte: Os autores (2023)

Portante, pode-se notar na Figura 49, o comparativo entre os óleos contaminados em relação aos limpos. O 80W quando contaminado, teve aumento de 16,4% da sua viscosidade, já o 80W90 quando contaminado, teve diminuição de 6,8% da sua viscosidade.



**Figura 49: Teste de viscosidade com Viscosímetro**  
Fonte: Os autores (2023)

## 7. CONCLUSÃO

Na primeira análise, pode-se concluir que, o objetivo foi calcular e determinar o nível ideal de óleo lubrificante para a caixa de redução da equipe MudRunner. Utilizou-se o software SolidWorks e referências bibliográficas, em particular MAZZO (2013), que após serem utilizadas as equações e o software, deram o volume ideal de 500 ml para caixa de redução da equipe. Nesse contexto, a engrenagem 4 fica submersa além da profundidade máxima (*prs*) ideal de lubrificação calculada. A engrenagem 3, portanto, é encarregada de salpicar lubrificante para as engrenagens 1, enquanto a engrenagem 4 realiza a lubrificação, também por salpicamento, da engrenagem 2, garantindo a total lubrificação do sistema.

No primeiro teste laboratorial, buscou-se compreender a influência dos óleos 80W e 80W90 em diferentes temperaturas: ambiente e 60° Celsius, a temperatura que a caixa redutora atinge em movimento. Ambos os óleos, quando aquecidos, demonstraram uma diminuição na viscosidade. Embora esperasse-se tempos de

chegada semelhantes devido à classificação igual em temperatura ambiente (ambos 80W), observou-se uma pequena diferença na fluidez desses lubrificantes.

No segundo teste, os mesmos óleos (80W e 80W90) foram avaliados quanto à influência na viscosidade por meio de contaminantes. A análise revelou que a presença de contaminantes aumentou a viscosidade do óleo 80W, indicando possíveis causas como oxidação, presença de água ou sólidos em suspensão. No entanto, o óleo contaminado 80W90 apresentou redução na viscosidade, possivelmente devido à contaminação por combustível ou outros produtos menos viscosos.

Entre os testes realizados, o óleo 80W destacou-se como a escolha mais vantajosa para operações entre os dois tipos de óleo examinados. Isso se deve ao fato de que, em ambas as avaliações, ele demonstrou a menor variação de viscosidade. No teste de aquecimento, em comparação com a temperatura ambiente, o 80W mostrou-se 1,2 segundos mais rápido, enquanto o 80W90 foi 2,2 segundos mais rápido, indicando uma variação de viscosidade maior em comparação com o 80W.

Além disso, no teste de viscosidade com viscosímetro, o óleo 80W revelou a menor alteração de viscosidade. Enquanto o 80W apresentou uma variação de 13 a 18, o 80W90 registrou variação de 23 a 28. Diante desses resultados, o 80W emerge como a opção mais recomendada para operações, uma vez que exibe a menor variação de viscosidade.

## 7.1 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão, propõe-se que a equipe MudRunner conduza uma análise prática do veículo em movimento com a caixa de redução lubrificada com o volume proposto, utilizando o software SolidWorks e a literatura do MAZZO (2013), para uma validação empírica e compreensão de possíveis interferências de outros fatores e parâmetros no desempenho do carro.

Para o teste de viscosidade com relação a temperatura, sugere-se utilizar uma telha lisa sem rugosidade, medir a temperatura da telha antes do teste, aquecer os lubrificantes simultaneamente através de uma câmara termográfica controlada,

realizar testes com uma variedade maior de lubrificantes e aplicar diversas repetições, a fim de possibilitar uma análise estatística comparativa dos valores obtidos.

Para o teste com viscosímetro, sugere-se uma investigação mais detalhada das impurezas em ambos os óleos para uma compreensão precisa dos fatores responsáveis por essas variações na viscosidade. Recomenda-se, ainda, uma vedação eficaz da caixa de redução, manipulação cuidadosa do óleo e armazenamento nas embalagens originais para evitar contaminações desconhecidas. Um estudo usando contaminantes encontrados em competições de baja também é sugerido para resultados mais próximos à realidade.

## REFERÊNCIAS

ABECOM. Manutenção em redutores de velocidade: o que você precisa saber?. *Abecom*, São Paulo, 10 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/manutencao-em-redutores-de-velocidade/>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

ABECOM. O que é lubrificante? Para que ele serve? Quais os tipos e como usar?. São Paulo, 28 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/o-que-e-lubrificante/#:~:text=Lubrificante%20%C3%A9%20a%20subst%C3%A2ncia%20entre,Torna%20escorregadiohttps://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/251>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

ABECOM. O que é tribologia na engenharia mecânica? Qual a sua importância na lubrificação. São Paulo, 7 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/tribologia/>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

ALMACINHA, José António. Redutor de parafuso sem-fim / roda de coroa. Universidade do Porto, 2002.

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna - Volume 1. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

CADIUM. Óleo para engrenagem em portão. São Paulo, 01 dez. 2020. Disponível em: <<https://cadium.com.br/oleo-para-engrenagem-em-portao/>>. Acesso em: 06 out. 2023.

CARRETEIRO, R P.; BELMIRO, P. N. A. Lubrificantes e lubrificação industrial. Rio de Janeiro: Ed. Interciencia, 2006. 504p.

CERELLO. Engrenagens para correntes de transmissão. São Paulo. Disponível em: <<https://www.cerello.ind.br/informacoes-tecnicas/engrenagens-industriais-cerello>>. Acesso em: 23 out. 2023.

DE PAULI, Evandro Armini; ULIANA, Fernando Saulo. Lubrificação - Mecânica. SENAI, Espírito Santo, 1997.

LAGO, Daniel Fabiano. Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante. 2007. 179 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2007.

LUBRAX. Ficha de informações de segurança de produtos químicos. 2023. Disponível em: [https://www.lubrax.com.br/sites/lubrax/files/fichas-de-seguranca/FISPQ\\_BR\\_PT\\_LUBRAX\\_TRM\\_4\\_80W.pdf](https://www.lubrax.com.br/sites/lubrax/files/fichas-de-seguranca/FISPQ_BR_PT_LUBRAX_TRM_4_80W.pdf). Acesso em: 26 out. 2023.

LUBRAX. Informações técnicas. 2016. Disponível em: <https://www.lubrax.com.br/sites/lubrax/files/2021-06/ft-lub-auto-gl5.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

MAZZO, Norberto. Engrenagens Cilíndricas Engrenagens cilíndricas – FATEC, 2013.

MECÂNICA TOTAL BRASIL. Os impactos do excesso de óleo em redutor de engrenagem: saiba como evitar problemas!. 22 set. 2023. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/os-impactos-do-excesso-de-%C3%B3leo-em-um-redutor-engrenagem>. Acesso em: 10 out. 2023.

MOTT, R. L. Elementos de máquina em projetos mecânicos. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 ago. 2023.

MUEQUIPAR. Válvula respiro. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.muequipar.com.br/fotos/Cat%C3%A1logo%20MQP%20-%20V%C3%A1lvulas%20Respiro.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

NEEDELMAN, William M. Et al. Contamination Control for Wind Turbine Gearboxes. Power Engineering, 2009.

NORIA Corporation. Signs of Lubricant Starvation. *Machinery Lubrication*, Estados Unidos, ago. 2012. Disponível em: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30027/lubricant-starvation-signs>. Acesso em: 10 out. 2023.

PERFECT VALVE. O que são válvulas de respiro?. 7 jan. 2020. Disponível em: <https://perfect-valve.com/pt/what-are-breather-valves/>. Acesso em: 22 out. 2023.

MULTENGRENAGENS. Redutor tipo planetário. São Paulo. Disponível em: <https://multengrenagens.com.br/informacao/redutor-tipo-planetario>. Acesso em: 25 set. 2023.

REIMAN. O que é uma caixa redutora e para que serve?. Disponível em: <<https://reiman.pt/pt/blog/transmissao-e-controlo-de-potencia/o-que-e-uma-caixa-redutora-e-para-que-serve#:~:text=Uma%20caixa%20redutora%20%C3%A9%20utilizada,resultando%20numa%20redu%C3%A7%C3%A3o%20da%20velocidade>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

RENAUX, D. P. B. et al. Gestão do conhecimento de um laboratório de pesquisa: uma abordagem prática. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DO CONHECIMENTO / GESTÃO DE DOCUMENTOS, 4, Curitiba, 2001.

RIBEIRO, Rubens. Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

ROCHA, Plínio Pereira. Utilização do óleo de coco babaçu na lubrificação de caixa de transmissão por engrenagens para protótipos baja SAE. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

SCHNEIDER, Cristian Jardel et al. Determinação do coeficiente de atrito de lubrificantes através do ensaio do anel. Instituto Federal Rio Grande do Sul, 2011.

SEMBARSKI, Paulo Ricardo Borgmann. Influência da lubrificação e da carga aplicada no desgaste por deslizamento de metais. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Fabricação Mecânica) - Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2018.

SNOOK, W. A. Análise de óleos usados de motores. Lubrificação, Rio de Janeiro, v. 54, n. 9, p. 97 - 116, 1968. SNOOK, W. A. Análise de óleos usados de motores. Lubrificação, Rio de Janeiro, v. 54, n. 9, p. 97 - 116, 1968.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. Engineering Tribology. Austrália: Butterworth Heinemann, 2001.

STACHOWIAK, G.W.; BATCHELOR, A.W. Engineering Tribology. Volume 24 de Tribology series. Butterworth-Heinemann, 1993. 871 páginas.

SILVA, C. A.; JÚNIOR A. I. J. Redutor Planetário e a performance do óleo ISO VG 460 EP em sistemas de transmissão industrial. Universidade de Rio Verde, 2016.

SILVA, M. B; WALLBANK, J. Lubrication and application method in machining. Industrial Lubrication and Tribology, 1998.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Introdução a mecânica dos fluidos. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7571633/mod\\_resource/content/1/Intro%20Mec%20Flu%202.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7571633/mod_resource/content/1/Intro%20Mec%20Flu%202.pdf)>. Acesso em: 11 dez. 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Transmissões por engrenagens. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7634291/mod\\_resource/content/1/Aula\\_02\\_EleMaqIII\\_v2021.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7634291/mod_resource/content/1/Aula_02_EleMaqIII_v2021.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2023.

VITAL, Andréia. Válvulas de Respiração promovem o alívio de pressão em motorreductores, mesmo em condições ambientais extremas. *Jornal Cana*, 16 ago. 2021. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/valvulas-de-respiro-promovem-o-alivio-de-pressao-em-motorreductores-mesmo-em-condicoes-ambientais-extremas/>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

WEBER, Vilmar. Procedimento operacional padrão para manutenção de motorreductores de rosca de transporte helicoidal. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.