

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Junior Garlet Osmari

**ANÁLISE DO DESGASTE DE UM MOTOR DE TRATOR AGRÍCOLA  
SUBMETIDO A AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO**

Santa Maria, RS, Brasil  
2023

Junior Garlet Osmari

**ANÁLISE DO DESGASTE DE UM MOTOR DE TRATOR AGRÍCOLA SUBMETIDO  
A AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (DEM1147).

Orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil 2023

**Junior Garlet Osmari**

**ANÁLISE DO DESGASTE DE UM MOTOR DE TRATOR AGRÍCOLA SUBMETIDO  
A AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (DEM1147).

Aprovada em 30 de outubro de 2023

---

**César Gabriel dos Santos, Dr. (UFSM)**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**André Rogério Kinalski Bender, Dr. (UFSM)**

---

**Alfran Tellechea Martini, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS, Brasil  
2023

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde, e a benção de viver esse período de graduação.

Agradeço especialmente aos meus pais, Edson Osmari e Rosemari de Fatima Garlet Osmari, por terem proporcionado todo apoio, suporte e atenção durante todo o período de estudos.

Agradeço a minha irmã Jaíne Garlet Osmari pela fraternidade.

Agradeço a minha namorada Eduarda Stefanello, pela paciência, compreensão, incentivo e confiança.

Aos meus amigos e familiares, em especial meus avós e minha tia Deise Osmari Giovelli pelo incentivo e orientações.

Ao meu orientador Prof. Dr. César Gabriel dos Santos por toda parceria, incentivo e paciência na realização deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Agrotecnologia por me proporcionar tão grande aprendizado e oportunidades. Aos professores, integrantes e ex-integrantes, pelas orientações e parcerias na realização deste e de outros tantos trabalhos.

Agradeço especialmente ao meu orientador Prof. Dr. José Fernando Schlosser pela confiança depositada, oportunidades concedidas e ensinamentos que nortearam minha caminhada profissional.

Agradeço ao Centro de Tecnologia e ao Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas, pelo acolhimento e suporte.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, por me proporcionar toda essa experiência.

A todos que de uma forma ou de outra, me ajudaram nesta caminhada.

“Te dou meu coração sincero  
Para gritar sem medo  
Tua grandeza Senhor  
Tereis, minhas mãos sem cansaço  
Tua história em meus lábios  
E força na oração.”

...

“Leva-me por onde os homens  
Necessitem Tua palavra  
Necessitem, de força de viver  
Onde falte a esperança  
Onde tudo seja triste  
Simplesmente, por não saber de Ti.”

*Enrique García Vélez,  
Trechos da música “Alma Missionária”.*

## RESUMO

### ANÁLISE DO DESGASTE DE UM MOTOR DE TRATOR AGRÍCOLA SUBMETIDO A AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO

AUTOR: Junior Garlet Osmari  
ORIENTADOR: César Gabriel dos Santos

A mecanização agrícola é um importante pilar do crescimento e prosperidade do setor primário no Brasil, pois maximiza a produção e eficiência das operações a campo. Buscando potencializar ainda mais os ganhos com a atividade, e reduzir custos operacionais, aprimoram-se as ferramentas utilizadas e as técnicas de manutenção e operação. O amaciamento de motores agrícolas é fundamental para uma boa performance durante a vida útil do equipamento, e normalmente é executada a campo por aproximadamente 100 hora-máquina (hm) de trabalho, ou em dinamômetros que reduzem esse tempo para 10 hora-máquina. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar o desgaste de um motor de trator agrícola submetido ao amaciamento em dinamômetro, impondo cargas controladas. Assim, propôs-se analisar amostras de óleo lubrificantes de um exemplar de trator agrícola amaciado em dinamômetro, ao longo do período de amaciamento, sendo as coletas feitas nos intervalos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 hora-máquina. As amostras foram submetidas a espectrometria de emissão óptica a plasma, para a detecção das concentrações de Ferro (Fe) proveniente dos cilindros, virabrequim, anéis, pistões e do elemento Cobre (Cu) vindo de mancais e buchas. Além disso, o consumo de óleo lubrificante foi analisado por meio da pesagem do óleo e o aumento da potência do motor foi analisado por meio da dinamometria. Foi verificado que após o período de amaciamento em dinamômetro a concentração de ferro aumentou em 23,87 %, assim como o cobre apresentou um aumento de 36,19 % a partir da amostra testemunha. Bem como, a potência expressou um aumento de 13,95 %, e o consumo específico de combustível experimentou uma redução de 9,8 %. Os resultados foram comparados com valores estabelecidos pela bibliografia, e foi possível constatar que as concentrações de metais de desgaste estão em conformidade com os limites para os elementos, dispensando a necessidade de troca de óleo ao final do período de amaciamento, para o trator ensaiado.

**Palavras-chave:** Espectrometria. Tribologia. Dinamometria.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE WEAR OF AN AGRICULTURAL TRACTOR ENGINE SUBJECTED TO RUNNING-IN ON A DYNO

AUTHOR: Junior Garlet Osmani  
ADVISOR: César Gabriel dos Santos

Agricultural mechanization is an important pillar of growth and prosperity in the primary sector in Brazil, as it maximizes production and field operation efficiency. To further maximize gains from the activity and reduce operational costs, the tools used, and maintenance and operation techniques are improved. The running-in of agricultural engines is crucial for better performance during the equipment's lifespan and is typically carried out in the field for approximately 100 machine-hours, or on dynamometers, which reduce this time to 10 machine-hours. Thus, this study aims to analyze the wear of an agricultural tractor engine subjected to running-in on a dynamometer, imposing controlled loads. It was proposed to analyze lubricating oil samples from an agricultural tractor model run-in on a dynamometer over the running-in period, with collections made at intervals of 0, 2, 4, 6, 8, and 10 machine-hours. The samples were subjected to plasma optical emission spectrometry to detect concentrations of Iron (Fe) from the cylinders, crankshaft, rings, pistons, and Copper (Cu) from bearings and bushes. Additionally, lubricating oil consumption was analyzed by weighing the oil, and the increase in engine power was analyzed through dynamometry. It was found that after the running-in period on the dynamometer, the iron concentration increased by 23.87%, and copper showed an increase of 36.19% from the control sample. Moreover, the power showed an increase of 13.95%, and the specific fuel consumption experienced a reduction of 9.8%. The results were compared with values established in the literature, and it was found that the concentrations of wear metals comply with the limits for the elements, eliminating the need for an oil change at the end of the break-in period for the tested tractor.

**Keywords:** Spectrometry. Tribology. Dynamometry.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Tacômetro do painel de instrumentos de um trator novo com decalque instruindo o operador sobre período de amaciamento. ....	15
FIGURA 2 - Conceito de trator 4x2 TDA.....	17
FIGURA 3 - Desenho em corte de um motor a combustão, onde estão identificados alguns dos principais componentes. ....	19
FIGURA 4 - Óleo lubrificante na câmara de combustão.....	21
FIGURA 5 - Fluxograma do processo. ....	24
FIGURA 6 - Dinamômetro EGGERS PT 301 MES.....	25
FIGURA 7 - Trator estudo de caso.....	26
FIGURA 8 - Seringa e mangueira utilizadas na coleta.....	28
FIGURA 9 - Definição do segmento de mangueira.....	29
FIGURA 10 - Procedimento para coleta e armazenamento de óleo lubrificante.....	29
FIGURA 11 - Acondicionamento da amostra.....	30
FIGURA 12 - Método de pesagem do óleo lubrificante.....	31
FIGURA 13 - Procedimento de pesagem do óleo lubrificante.....	33
FIGURA 14 - Concentração de Cobre durante o amaciamento.....	37
FIGURA 15 - Concentração de Ferro durante o amaciamento.....	38
FIGURA 16 - Linhas de tendência de metais de desgaste.....	39
FIGURA 17 - Projeção da concentração de Ferro.....	40
FIGURA 18 - Projeção da concentração de Cobre.....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Porcentagem de tratores, classificados em faixa de potência, sistema de injeção e aspiração. ....	18
TABELA 2 - Elementos detectados pela espectrometria.....	21
TABELA 3 - Configuração do procedimento de amaciamento. ....	27
TABELA 4 - Período de coletas de amostra. ....	28
TABELA 5 - Dados de consumo de óleo lubrificante.....	34
TABELA 6 - Potência e torque durante o amaciamento (SAE J1995).....	35
TABELA 7 - Consumo de combustível.....	35
TABELA 8 - Concentração de cobre no óleo lubrificante.....	36
TABELA 9 - Concentração de Ferro no óleo lubrificante.....	37
TABELA 10 - Intervalos de troca de óleo baseados na concentração de metais de desgaste..	39

## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 - Especificações técnicas do dinamômetro. ....	25
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	HIPÓTESE.....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	TRATOR AGRÍCOLA .....	17
2.2	ÓLEO LUBRIFICANTE.....	19
2.3	ESPECTROMETRIA.....	20
2.4	CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE .....	21
2.5	TRIBOLOGIA .....	22
2.6	AMACIAMENTO DE MOTORES .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1	LOCAL DO AMACIAMENTO .....	24
3.2	DINAMÔMETRO .....	24
3.3	TRATOR ESTUDO DE CASO.....	26
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO .....	27
3.5	COLETAS E ANÁLISES.....	27
3.6	CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE .....	30
3.7	DINAMOMETRIA .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>33</b>
4.1	CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE .....	33
4.2	DINAMOMETRIA .....	34
4.3	ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE.....	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
	<b>ANEXO A – FICHA TÉCNICA MF 7300 DYNA-3 .....</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXO B - PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DE FE E CU EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE MOTOR.....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO TESTEMUNHA .....</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO FINAL.....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXO E – LAUDO DA ESPECTROMETRIA.....</b>	<b>50</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio tem um papel importante na economia brasileira, e respondeu em média por 23% do PIB brasileiro entre os anos de 1995 e 2021, chegando a 24,4% em 2023 segundo o Centro de estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). Isso se deve as características naturais e geopolíticas, além das constantes inovações tecnológicas que são incorporadas, que permitem obter alta produtividade nas áreas trabalhadas. Nesse contexto, a mecanização agrícola possui um papel fundamental na modernização das atividades e na eficiência dos sistemas agrícolas, proporcionando um incremento da capacidade operacional, atingindo um maior número de hectares por hora trabalhada (ALBIERO et al., 2019).

Na agricultura mecanizada são utilizados implementos para o preparo do solo (grades, subsoladores, escarificadores), semeadura e cultivo (semeadora, plantadora, pulverizador), colheita (carretas, colhedoras), e amplamente utilizado o trator agrícola que é considerado um dos elementos fundamentais na manutenção e na elevação dos padrões produtivos, podendo auxiliar em todas as etapas da produção agrícola (FARIAS, 2016). O trator surgiu em 1850 com a intenção de obter um veículo capaz de realizar a tração de um implemento, visando substituir a força de tração animal que até então era utilizado na realização das tarefas, e seu nome foi oriundo da combinação de duas palavras provindas do inglês (*TRACtion moTOR*) motor de tração ou trator (SIMONE et al., 2006).

A potência gerada por um trator provém de um motor a combustão, majoritariamente utilizando óleo Diesel como combustível. Por ser um mecanismo que envolve movimentos relativos, há um desgaste natural dos componentes, que podem ocorrer por corrosão, abrasão e principalmente por atrito.

Dentro da câmara de combustão, onde ocorre a queima do combustível, desliza um “êmbolo” chamado pistão, com anéis que desempenham a função de vedação enquanto pressionam a parede do cilindro. Essa movimentação demanda lubrificação, e por meio da fina película de óleo entre as superfícies há troca de substâncias, que podem contaminá-lo, afetando a capacidade de minimizar o atrito. Ademais, há o desgaste desses componentes, e além do conjunto “pistão, anel e cilindro”, também há desgastes em outros mecanismos, como nos mancais do virabrequim. Tudo isso pode intensificar-se sob algumas condições, entre elas o período de amaciamento.

O período de amaciamento é um quando um motor novo ou retificado, inicia sua operação. As superfícies das camisas/cilindros, bronzinas, anéis, pistões, possuem a topografia

das superfícies ásperas e marcadas pelo brunimento e/ou outros processos de fabricação ou retífica, que podem apresentar rugosidade (Ra) máxima de até 0,8  $\mu\text{m}$ , em algumas retificadoras. A rugosidade aumenta a potência de atrito demandada ao motor, ocorrendo perda de eficiência, ocasionando alto consumo de combustível e menor potência disponível.

Essa rugosidade diminui consideravelmente nas primeiras horas de operação, e quando atinge uma topografia adequada, considera-se que o motor está amaciado. Isso ocorre quando o motor atinge a potência para qual foi projetado, e o desgaste do motor em função do tempo atinge valores aceitáveis.

Para monitorar esses desgastes, um dos possíveis métodos é a coleta e posterior análise do óleo lubrificante por meio da espectrometria. Essa técnica de monitoramento pode ser utilizada para planejamento de manutenções preditivas e auxiliar o desenvolvimento de produto. A espectrometria detecta metais como ferro e cobre presentes no óleo lubrificante, e níveis quantitativamente acima dos valores preconizados pela bibliografia indicam desgaste de componentes internos do motor.

Em tratores agrícolas, para que ocorra um correto amaciamento do motor, num contexto geral, os fabricantes de tratores recomendam que as 100 primeiras horas de operação sejam em serviços pesados que demandem plena carga do motor (Figura 1), como semeadura, preparo de solo, colheita de forragem etc. Essa recomendação nem sempre é cumprida efetivamente, pois as demandas de operações são variadas e sazonais, ou seja, em determinadas épocas do ano predominam operações leves que não exigem plena carga.

Alternativamente, realiza-se o amaciamento utilizando um dinamômetro de correntes de Foucault<sup>1</sup>, acoplado ao trator por meio da tomada de potência e utilização da árvore cardânica (FARIAS, 2016). Para este procedimento, o motor é submetido a rotação máxima e imposta uma carga de equivalente a 30% da sua potência nominal, e opera nessas condições pelo período de 20 horas.

---

<sup>1</sup> Corrente de Foucault, ou corrente parasita, é uma corrente elétrica que surge em um objeto condutor quando é exposto a um campo magnético, gerando uma força que se opõe ao movimento. Por isso é frequentemente usada em uma variedade de aplicações industriais e tecnológicas, como freios e embreagens eletromagnéticas (Halliday, 2016).

Figura 1 - Tacômetro do painel de instrumentos de um trator novo com decalque instruindo o operador sobre período de amaciamento.



Fonte: Adaptado de Massey Ferguson, (2018).

Ao final do período de amaciamento, por recomendações do fabricante, é obrigatório ao proprietário do trator realizar a troca do óleo lubrificante do motor, sob pena da perda de garantia de produto. Isso se deve ao fato de o óleo lubrificante carregar impurezas, entre elas, as partículas de matérias arrancadas dos componentes nesse período, que em alguns casos são chamadas de limalhas e atingem dimensões macroscópicas.

## 1.1 HIPÓTESE

O desgaste do motor de um trator agrícola varia durante a vida útil, e é maior durante o período de amaciamento.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desgaste de um motor de trator agrícola durante o amaciamento em dinamômetro, por meio da análise da concentração de elementos químicos presentes no óleo do motor e obter uma curva de desgaste em função do período de amaciamento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Analisar amostras de óleo lubrificante em espectrometria por emissão óptica a plasma e detectar as concentrações de Ferro e Cobre no óleo lubrificante.
- Analisar a conformidade das concentrações observadas quanto aos valores da bibliografia.
- Verificar a necessidade de troca de óleo após o período de amaciamento por parte dos fabricantes.
- Verificar o consumo de óleo lubrificante durante o período de amaciamento.
- Realizar ensaios dinamométricos antes e depois do amaciamento e comparar os resultados de performance (torque e potência).

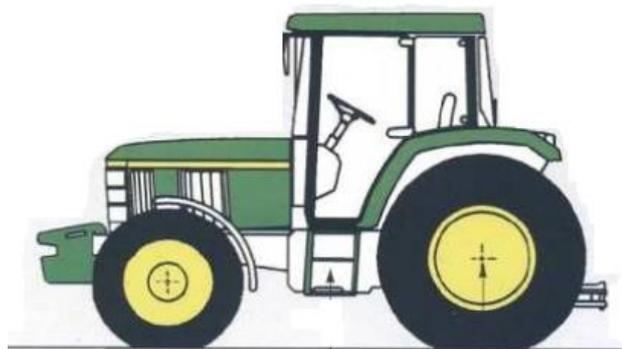
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo de revisão bibliográfica são apresentados os conceitos fundamentais relativos aos temas trator agrícola, óleo lubrificante, espectrometria, tribologia e amaciamento de motores.

### 2.1 TRATOR AGRÍCOLA

De acordo com a Norma ISO 3339/1-1994, utilizada para definir máquinas agrícolas no mundo todo, “o trator agrícola, se define como máquina automotriz de rodas, esteiras ou misto, construído especialmente para arrastar, empurrar, elevar e acionar qualquer máquina ou implemento destinado a trabalhos agrícolas”. O principal conceito de trator agrícola utilizado é o 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar) conforme ilustra a Figura 2, que consiste em um modelo com 4 rodas, sendo as rodas traseiras maiores e responsáveis pela tração, e as dianteiras menores que auxiliam na tração e fazem o direcionamento.

Figura 2 - Conceito de trator 4x2 TDA.



Fonte: MÁRQUEZ, 2012.

As vendas internas no atacado de tratores agrícolas alcançaram o maior número no ano de 2013, com 65.089 unidades vendidas, e a média anual entre 2016 e 2020 é de 36.046 unidades (ANFAVEA, 2022). As principais regiões consumidoras são a região sul e região sudeste, que representam 63% das vendas considerando o número de unidades vendidas.

Devido ao amplo mercado, há grande variedade de marcas de tratores no Brasil, entre elas John Deere, Massey Ferguson, Valtra e New Holland são as quatro marcas mais importantes no cenário nacional (FARIAS, 2014).

Os componentes básicos de um trator agrícola são o motor, a transmissão e o sistema hidráulico (MÁRQUEZ, 2012). O sistema de transmissão é responsável por transmitir o torque gerado pelo motor, até as rodas efetuando força de tração e variando a velocidade, e até a tomada de potência para acionar implementos. O sistema hidráulico gera fluxo de óleo sob pressão, que pode ser utilizado também para acionar equipamentos e operar o sistema de engate de três pontos, elevando implementos.

Quanto a motorização, os tratores agrícolas são em sua grande maioria equipados com motores de ignição por compressão, ciclo Diesel. De acordo com CASALI (2021), entre os tratores comercializados no Brasil em 2021, 97,5% possuíam motores de 3, 4 e 6 cilindros. Já, quanto a forma de aspiração, a maioria dos tratores brasileiros utilizam turbocompressor, o que possibilita maior eficiência volumétrica dos motores. Essa proporção era de aproximadamente 87,6% em 2021, de acordo com o Anuário de Tratores 2021/22 da Revista Cultivar Máquinas. A Tabela 1 demonstra o perfil dos motores de tratores disponíveis no mercado brasileiro.

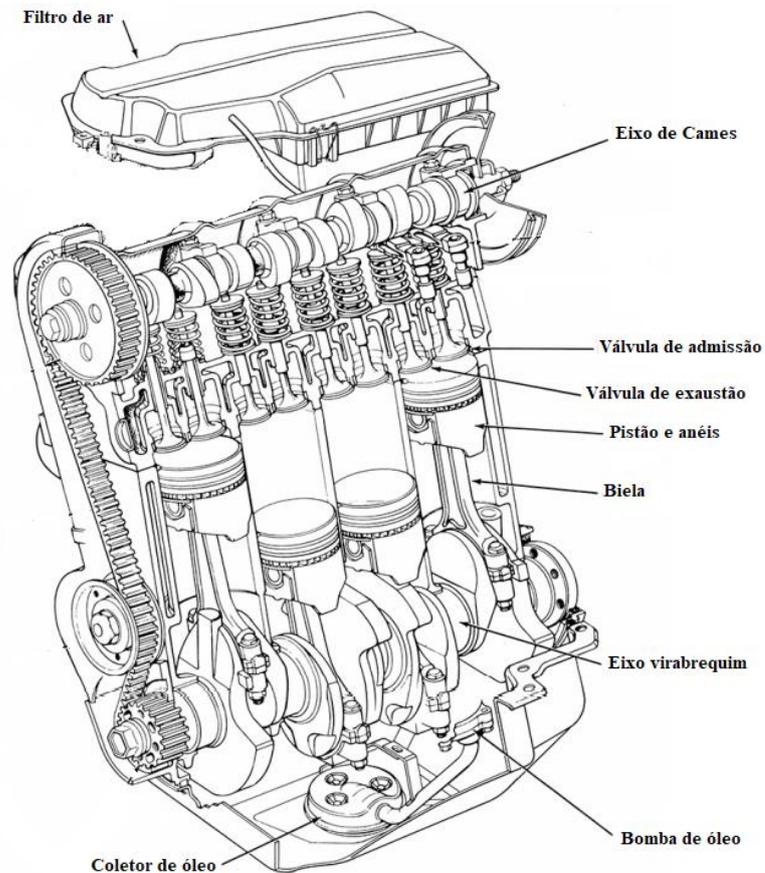
Tabela 1 - Porcentagem de tratores, classificados em faixa de potência, sistema de injeção e aspiração.

	<b>Até 49cv</b>	<b>50 a 99cv</b>	<b>100 a 149cv</b>	<b>150 a 250cv</b>	<b>&gt;250 cv</b>
<b>Injeção (%)</b>					
Mecânica	67,7	54,1	20,5	5,4	-
Eletrônica	-	13,9	56,4	92	100
<b>Aspiração (%)</b>					
Natural	70,9	18,8	-	-	-
Turbocomprimida	-	66,4	100	100	100
<b>Número de Cilindros (%)</b>					
1	3,2	-	-	-	-
2	12,9	-	-	-	-
3	61,3	36,9	5,1	-	-
4	22,6	63,1	76,9	10,5	-
6	-	-	18,0	89,5	95,8
7	-	-	-	-	2,1
12	-	-	-	-	2,1

Fonte: Adaptado de CASALI (2021).

Os principais componentes do motor a combustão são pistão, anéis, cilindro, válvulas, eixo de cames, biela e virabrequim. Alguns destes componentes estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Desenho em corte de um motor a combustão, onde estão identificados alguns dos principais componentes.



Fonte: Adaptado de HEYWOOD (2018).

## 2.2 ÓLEO LUBRIFICANTE

O óleo lubrificante tem como função minimizar o atrito entre superfícies móveis e conseqüentemente desgaste do motor, bem como pela limpeza dos resíduos da combustão e dos resíduos provocados pelo desgaste de componentes. Através da análise periódica do lubrificante, é possível acompanhar a sua deterioração normal e aquelas causadas por contaminações diversas, servindo como indicativo de manutenções preventivas (CORRÊA et al., 2011).

Isso é possível pois “o óleo lubrificante carrega informações importantes sobre as condições do meio em que circula, e sua análise possibilita determinar o grau e natureza dos metais de desgaste, dos contaminantes e características básicas dos lubrificantes, possibilitando a correção de problemas iminentes e catastróficos” (BERTINATTO, 2014, p. 1). O

monitoramento das condições do óleo lubrificante é uma ferramenta preventiva para diminuir o risco de falhas prematuras do funcionamento do motor (LUBES EM FOCO, 2010), e vem sendo cada vez mais usada principalmente em grandes frotas.

A determinação de metais em óleo lubrificante também foi realizada por Silveira (2010), que coletou amostras provenientes de motores de ônibus urbanos nas trocas de óleo em 15000, 20000, 25000 e 30000 quilômetros rodados, observando aumento nas concentrações de ferro como e cobre, indicando desgaste de componentes do motor. Essa análise também foi implementada por Oliveira Junior (2017), o qual buscou reduzir custos de manutenção em uma frota de caminhões canavieiros, obtendo uma redução de 33% no custo com manutenção de motores por meio do monitoramento da presença de metais no óleo lubrificante.

O procedimento para analisar-se o óleo lubrificante, se dá coletando amostras de óleo em determinados períodos de operação do motor e, posteriormente, avaliá-las para determinar tanto o estado do motor quanto do lubrificante (FYGUERO e SÍMON, 1997). Com o monitoramento de parâmetros através da análise do lubrificante, Lima (2017) propôs um aumento do intervalo de troca do lubrificante em máquinas de grande porte, mostrando que é possível obter economia e redução no impacto ao meio ambiente em relação ao descarte de lubrificante.

### 2.3 ESPECTROMETRIA

A espectrometria é uma das principais técnicas para análise de partículas no óleo, pois determina qualitativa e quantitativamente os constituintes e possíveis contaminantes, constituídos de partículas menores do que 5  $\mu\text{m}$  (MURARO, 2016).

Na espectrometria, o óleo é aquecido por ação de um plasma de argônio a uma temperatura muito elevada (6.000 °C) fazendo com que os elétrons sejam excitados e emitam fótons de luz com frequências características ao saltar entre os diferentes níveis quânticos. Através da interação entre os fótons de luz emitidos e a radiação ultravioleta emitida pela fonte, a concentração dos elementos presentes no óleo é determinada (DAVID, 2005). Os principais elementos detectados pela espectrometria, suas prováveis origens e as concentrações máximas estão discriminadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Elementos detectados pela espectrometria.

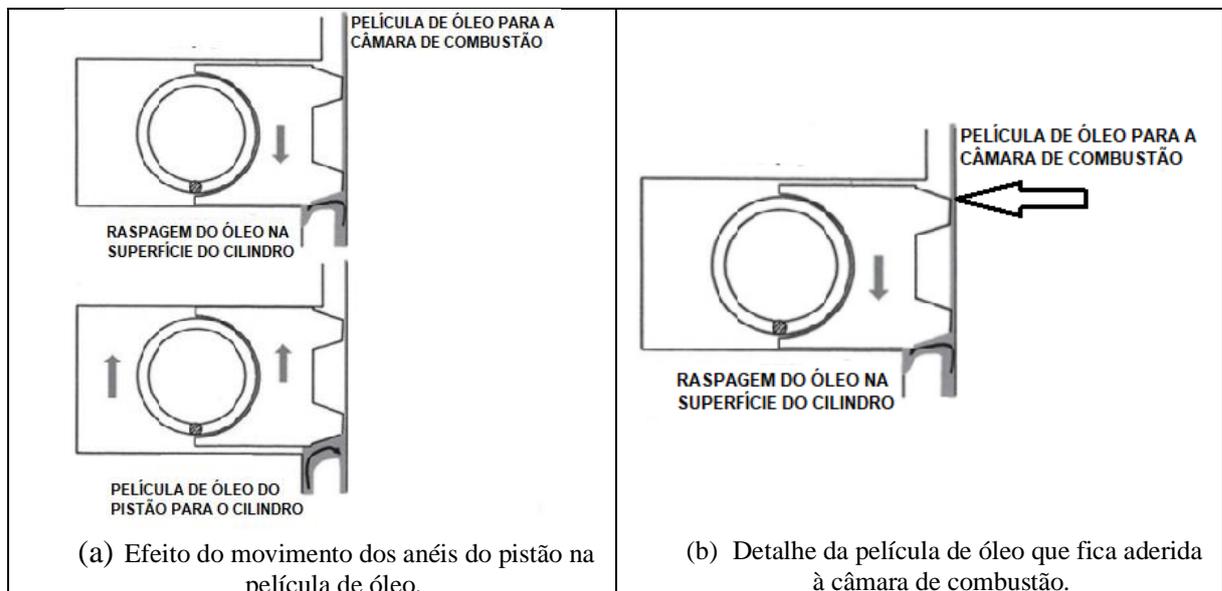
<b>Elemento</b>	<b>Provável origem</b>	<b>Concentração Admissível</b>
Alumínio (Al)	Pistões, rolamentos, arruelas	< 10 ppm
Cromo (Cr)	Anéis, válvulas de exaustão, bielas	< 5 ppm
Ferro (Fe)	Cilindros, virabrequim, anéis, pistões	< 100 ppm
Chumbo (Pb)	Aditivos de combustíveis	< 20 ppm
Cobre (Cu)	Mancais, buchas e peças de bronze	< 15 ppm
Sílica/Silício (Si)	Poeira	< 20 ppm

Fonte: Adaptado de MURARO (2016) e GASPARINI (1983).

## 2.4 CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Durante a operação de um motor agrícola, a superfície sob o pistão recebe óleo lubrificante, o que é necessário devido aos mecanismos que ali estão. Com o movimento entre pistão e cilindro, parte desse óleo aloja-se na superfície do cilindro formando uma película (Figura 4a), que apesar da raspagem realizada pelos anéis (Figura 4b) ainda resiste e permanece no interior da câmara de combustão.

Figura 4 - Óleo lubrificante na câmara de combustão.



Fonte: Adaptado de HEYWOOD (2018).

A consequência desse fenômeno é o consumo do óleo lubrificante, pois a película que fica aderida a parede do cilindro é queimada na combustão. Quando novo, com uma rugosidade

maior devido aos processos de fabricação/retífica, permite alocar uma película de maior espessura, acarretando maior queima de lubrificante. Portanto, um dos indicativos que um motor está amaciado é a proporção correta de consumo de lubrificante.

## 2.5 TRIBOLOGIA

A potência de atrito, proveniente da força de atrito entre os mecanismos em contato no motor, gera resistência ao funcionamento e consome a potência gerada pelo motor. Representa uma fração bastante significativa - variando entre cerca de 10% em carga total e rotações mais baixas, passando por 50% em carga leve, e até 100% em marcha lenta ou sem carga (HEYWOOD, 2018).

O motor a combustão interna é composto por vários mecanismos em contato e com movimentos relativos. Dentro dele, o conjunto “pistão, anel e cilindro” é considerado o mais importante sistema tribológico. O acabamento da superfície do cilindro é o mais importante fator que afeta o atrito, desgaste e lubrificação das superfícies deslizantes contidas no cilindro (PAWEL, 1997).

O perfil de contato é uma característica de grande importância na capacidade do anel em controlar a espessura da película de óleo lubrificante presente na parede do cilindro. Como exemplo, buscando minimizar o contato da região superior da face do anel de vedação com a superfície do cilindro, utiliza-se uma face de contato abaulada (GARCIA, 2003).

De acordo com MURARO (2016), “no que diz respeito aos mecanismos de desgaste do par tribológico anel-camisa, pode-se dizer que o desgaste ocorre devido ao deslizamento dos anéis na camisa, podendo haver principalmente adesão, corrosão e abrasão”. Esse desgaste é mais intenso durante o período de amaciamento.

## 2.6 AMACIAMENTO DE MOTORES

De uma maneira geral, pode-se dizer que o desgaste de anéis e camisas contemplam, basicamente, duas fases: amaciamento e progressivo. A fase de amaciamento ocorre nas

superfícies ainda não deformadas e o desgaste promove um alisamento com a diminuição da rugosidade inicial e acomodação entre as superfícies. No período de amaciamento são formadas camadas encruadas, camadas protetoras de óxido ou filmes adsorvidos. O tempo de amaciamento para motores em dinamômetro tem duração de aproximadamente 10 horas. Após o período de amaciamento, ocorre o período de desgaste progressivo com taxas menores e praticamente constantes (GARCIA, 2003).

Portanto, o amaciamento nada mais é do que o assentamento natural entre anéis de pistão e a superfície do cilindro (bloco) nas primeiras horas de funcionamento de um motor. O amaciamento se constitui, portanto, na fase mais crítica e a que determina grande parte da vida útil do motor. Por outro lado, o usuário final exige atualmente uma fase de amaciamento extremamente curta (CARDILLE, 2009), que pode ser obtida com o amaciamento em dinamômetro.

A redução do tempo de amaciamento de 100 horas-máquina operando a campo para 10 horas-máquina operando em dinamômetro se dá pelas condições e cargas impostas ao motor, que são mais severas e contínuas que as percebidas em campo. De acordo com Blau (2005), o amaciamento de motores depende do tempo e da escala em que a energia é aplicada no sistema tribológico, sendo assim, o tempo necessário para atingir o estado ideal de fricção ou deslizamento não será necessariamente sempre o mesmo, e ainda acrescenta que o controle do processo de amaciamento é de grande importância para longevidade e estabilidade do tribossistema.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados para a realização do trabalho. Na Figura 5 é ilustrado o fluxograma do processo.

Figura 5 - Fluxograma do processo.



Fonte: Autor.

#### 3.1 LOCAL DO AMACIAMENTO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Agrotecnologia (Agrotec), nas dependências do Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas (NEMA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O laboratório está localizado no município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas de 29,723° de latitude sul e 53,719° de longitude oeste. A altitude aproximada do local é de 103 metros em relação ao nível médio dos oceanos.

#### 3.2 DINAMÔMETRO

Para o amaciamento e dinamometria, foi utilizado um dinamômetro móvel de correntes parasitas, acoplado a tomada de potência (TDP) do trator. O dinamômetro é da marca EGGERS, modelo PT 301 MES (Figura 6) e suas características técnicas estão discriminadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações técnicas do dinamômetro.

Princípio de funcionamento	Indução eletromagnética
Sistema de frenagem	Dois freios por correntes de Foucault
Refrigeração	Ar
Rotação máxima permissível (rpm)	2.500
Potência máxima contínua (kW/cv)	551/750
Potência máxima intermitente (kW/cv)	603/820
Torque máximo (N.m)	5.800
Exibição	Display digital
Alimentação elétrica (V)	400/230
Dimensões (C x L x A) (mm)	3.100 x 1.800 x 1.580
Massa (kg)	1.250

Fonte: Adaptado de Machine Manual Dynamometer PT 301 MÊS.

A dinamometria é gerenciada através de um *software* de computador, *Power Control* versão 2.1, por meio de comunicação *bluetooth*, e impõem-se o torque necessário para que o número de rotações por minuto (rpm) atinja o valor pretendido. Durante a operação, é monitorado o consumo de combustível através de um fluxômetro marca EGGERS modelo FM3-100, e as condições meteorológicas por meio de uma estação meteorológica específica do aparelho.

Figura 6 - Dinamômetro EGGERS PT 301 MES



Fonte: Autor

### 3.3 TRATOR ESTUDO DE CASO

O trator a ser amaciado é do tipo 4x2 TDA, da marca Massey Ferguson e modelo 7318 *Dyna-3*, conforme ilustra a Figura 7. O mesmo estava sob a responsabilidade da concessionária Itaimbé Máquinas representante da Massey Ferguson, a qual solicitou o serviço de amaciamento após fazer a substituição completa do motor do equipamento. Devido a essas condições, o trator possuía em seu horímetro no início do amaciamento um total de 1413,5 horas-máquina, porém o novo motor recém fora instalado, e por isso havia a necessidade da realização do amaciamento.

Figura 7 - Trator estudo de caso.



Fonte: Autor.

O trator é equipado com um motor ciclo Diesel, marca AGCO POWER, modelo 49CW3, sistema de injeção de combustível da marca Bosch, do tipo Common Rail, com gerenciamento eletrônico. Apresenta volume interno deslocado de 4900 cm<sup>3</sup>, quatro cilindros verticais em linha, turboalimentado e com *aftercooler*. Fornece uma potência nominal, segundo a ficha técnica (Anexo A), de 132 kW na velocidade angular de 2100 rotações por minuto (rpm) e torque máximo de 699 N.m a 1500 rpm do motor. Durante todo o período, o trator operou utilizando óleo Diesel S500 como combustível.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO AMACIAMENTO EM DINAMÔMETRO

O amaciamento em dinamômetro foi realizado em forma de testes dinamométricos composto por 5 períodos, em que ao final de cada período se fez uma coleta de amostra de óleo lubrificante. O período tem duração de aproximadamente duas horas-máquina, e foi dividido em três etapas, cada uma delas representando 33,3% do período em amaciamento.

Em cada etapa, aplicou-se um formato de teste personalizado utilizando o *software Power Control*, de modo que o motor opere em três faixas de rotações, por 40 minutos cada faixa. A faixa inicial é de 1800 rpm, havendo um decréscimo de 100 rpm para a próxima faixa, sendo a faixa final a de 1600 rpm.

O motor é posto a operar em rotação máxima, e o dinamômetro impõe uma carga suficiente para que a rotação diminua até a faixa pretendida (1800 rpm), e permanece impondo a carga durante 40 min (2400 segundos). Em seguida, o dinamômetro aumenta a carga imposta de modo a reduzir em 100 rpm a rotação do motor, repetindo esses passos até atingir a faixa de rotação final (1600 rpm). O procedimento de amaciamento inserido no *software* do dinamômetro e executado está descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Configuração do procedimento de amaciamento.

Número do passo	Tempo de duração (min)	Rotação (rpm)
1	40	1800
2	40	1700
3	40	1600

Fonte: Autor.

Deste modo, o motor opera em vários regimes de carga e rotação, passando pela rotação de potência máxima e rotações com torques mais elevados. Isso é necessário pelo fato de que: para diferentes cargas impostas varia a temperatura do motor; para diferentes torques, altera a posição em que o pistão desliza dentro do cilindro, alterando a superfície de desgaste.

### 3.5 COLETAS E ANÁLISES

As amostras foram coletadas em intervalos de 20% do período de amaciamento, ou seja, duas horas-máquina de amaciamento em dinamômetro, além de uma coleta testemunha na

chegada do trator ao laboratório. Dessa forma, as amostras são identificadas e as coletas realizadas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Período de coletas de amostra.

Identificação da amostra	Instante da coleta (hora-máquina)
1	0 hm
2	2 hm
3	4 hm
4	6 hm
5	8 hm
6	10 hm

Fonte: Autor.

Executou-se a coleta do óleo lubrificante na região abaixo da superfície do óleo e acima do fundo do depósito. Essa condição se dá pelo fato de que sempre haverá maior quantidade de partículas e outros contaminantes depositados ao fundo do depósito. Portanto, fez-se a coleta na região à 0,05 m (5 cm) abaixo da superfície do óleo, de modo a coletar as partículas recém desprendidas de sua origem em meio ao óleo agitado.

A coleta da amostra de óleo lubrificante foi feita por meio de uma seringa descartável de 60 mL de capacidade volumétrica, que efetua o trabalho de sucção do óleo além da dosagem do volume da amostra. Na seringa, acoplou-se uma mangueira flexível de polímero de 08 mm de diâmetro externo (Figura 8).

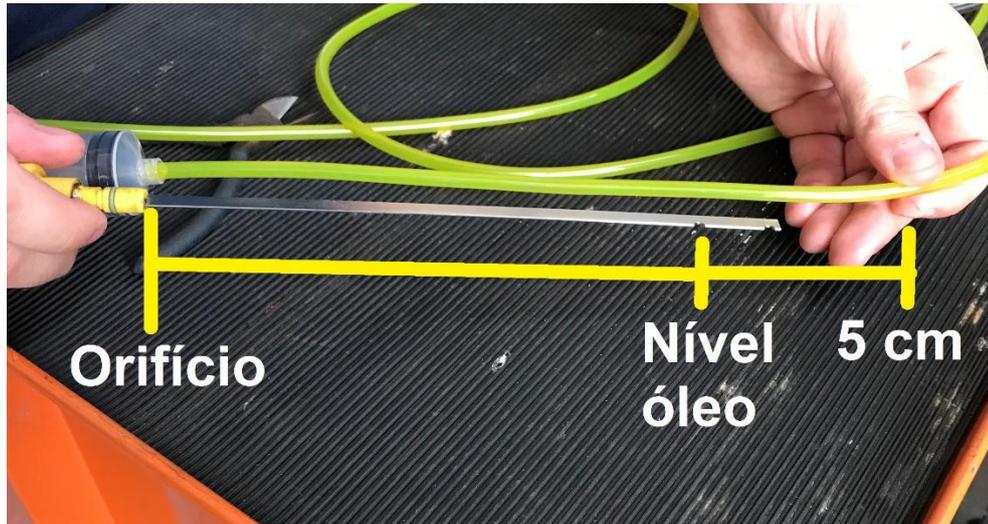
Figura 8 - Seringa e mangueira utilizadas na coleta.



Fonte: Autor.

Para efetivamente executar a coleta à 0,05 m (5 cm) da superfície do óleo, utilizou-se a vareta de aferição de nível do óleo do cárter. Retirou-se a vareta do orifício, dispôs-se a lado a lado com a seringa e a mangueira acoplada então, cortou-se um segmento de mangueira com um comprimento que representa a distância da entrada do orifício do cárter até o nível de superfície do óleo e um adicional de 0,05 m (5 cm), conforme a Figura 9.

Figura 9 - Definição do segmento de mangueira.



Fonte: Autor.

Após definido o comprimento da mangueira para a coleta, cortou-se 6 segmentos, sendo que cada um foi usado para apenas uma coleta e depois descartado. A coleta do óleo foi realizada introduzindo a seção de mangueira através do orifício da vareta de aferição de nível do óleo (Figura 10a), com toda a seção de mangueira internalizada no cárter, fez-se o acionamento do êmbolo da seringa, gerando vácuo e efetuando a sucção de óleo lubrificante (Figura 10b). Coletou-se o volume total da seringa, equivalente a 0,06 L (60 mL) de óleo, que é despejado (Figura 11a) em um recipiente limpo (Figura 11b) onde foi feito o acondicionamento da amostra e posteriormente enviado ao laboratório para análise.

Figura 10 – Procedimento para coleta e armazenamento de óleo lubrificante.



(a) Introdução da mangueira



(b) Sucção do óleo.

Fonte: Autor.

Figura 11 - Acondicionamento da amostra.



(a) Óleo sendo despejado.



(b) Recipiente utilizado.

Fonte: Autor.

As amostras foram direcionadas ao Laboratório de Análises Químicas, Industriais e Ambientais (LAQIA), que pertence ao Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e submetidas a espectrometria de emissão óptica a plasma, que revelou as concentrações de Ferro (Fe) e Cobre (Cu). O espectrômetro utilizado é da marca Spectro Analytical Instruments, modelo Spectro Arcos ICP-OES, que possui um nebulizador do tipo *cross-flow*, câmara de nebulização de duplo passo e tocha com injetor de quartzo. A preparação da amostra é conduzida utilizando a técnica de decomposição por via úmida assistida por radiação micro-ondas (MAWD). O procedimento é descrito no Anexo B.

### 3.6 CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Um dos indicativos que um motor está amaciado é a proporção correta de consumo de lubrificante. Para se determinar esta grandeza, optou-se por pesar o óleo lubrificante do motor do trator (determinar a massa), drenando todo o volume de óleo do cárter antes de iniciar o amaciamento, e novamente ao final das 10 horas-máquina de operação, sendo que o volume de óleo retirado para análise foi considerado nesse processo. O óleo foi contido em um recipiente apropriado para óleo lubrificante com capacidade para 20 litros, suspenso em um guincho

hidráulico tipo girafa e aferida a massa utilizando uma balança digital suspensa com capacidade de 300 kg e 10 g de resolução. A metodologia da pesagem está ilustrada na Figura 12.

Figura 12 - Método de pesagem do óleo lubrificante.



Fonte: Autor.

### 3.7 DINAMOMETRIA

Para avaliar o desempenho do novo motor, realizaram-se testes dinamométricos no mesmo intervalo de tempo da coleta de óleo lubrificante, ou seja, um ensaio de testemunha e outros a cada duas horas-máquina de operação.

O teste é realizado utilizando o dinamômetro EGGERS PT 301 MES, seguindo o seguinte procedimento:

- 20 minutos de aquecimento, no qual o motor é submetido uma carga suficiente para que a rotação na tomada de potência seja de 540 rpm, e atinja a temperatura de operação.
- ensaio automático realizado pelo dinamômetro, a partir de parâmetros preestabelecidos. Com o acelerador de mão posicionado em rotação de potência máxima, o dinamômetro impõe cargas ao motor provocando a queda da rotação, enquanto realiza a leitura de valores a cada 50 rpm.

A partir do ensaio automático, o *software* Power Control gera uma tabela de dados contendo rotação, torque, potência e consumo de combustível. Os valores emitidos são

corrigidos pelo próprio *software* quanto as condições de temperatura e pressão atmosférica, e seguem a norma DIN 70020.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos relativos aos temas consumo de óleo lubrificante, dinamometria e concentração de metais de desgaste.

### 4.1 CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Primeiramente foi determinada a massa do óleo lubrificante para mensurar o consumo, para isso, foram utilizados um guincho hidráulico, balança digital e um recipiente, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Procedimento de pesagem do óleo lubrificante.



(a) Pesagem do óleo lubrificante.



(b) Balança utilizada.

Fonte: Autor.

A massa de óleo lubrificante, ao ser recebido o trator, foi de 17,14 kg, enquanto a massa depois de amaciamento foi de 16,7 kg. Durante a operação de amaciamento, foram coletadas seis amostras de 0,06 L (60 mL) de óleo cada, totalizando 0,036 L (360 mL), as quais foram também pesadas e descontado a massa do recipiente de acondicionamento. A massa total das amostras foi de 0,303 kg (303 g), e considerando o volume total calculou-se a densidade de  $842 \text{ kg.m}^{-3}$ . Subtraindo da massa inicial a massa final e a massa das amostras, concluiu-se que o consumo total durante o amaciamento foi de 0,137 kg (137 g).

Após o período de amaciamento, o trator permaneceu no Laboratório de Agrotecnologia, onde recebeu reparos no sistema de injeção de combustível – bomba e bicos injetores. Após as adequações, realizaram-se ensaios dinamométricos, e validação do novo

motor, operando por 1,8 hm além das 10 hm em amaciamento, totalizando 11,8 hm. Para a densidade calculada, o volume de óleo consumido é de aproximadamente 0,1153 L (115,3 mL), que consumidos durante um período de 11,8 hm representa a taxa de consumo de 9,8 mL.h<sup>-1</sup>. Os dados de consumo de óleo lubrificante estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de consumo de óleo lubrificante.

Massa inicial	17,14 kg (17140 g)
Massa final	16,70 kg (16700 g)
Amostras	303 g
Consumo	137 g
Consumo	115,3 mL
Horas-máquina	11,8 hm
Consumo horário	9,8 mL/hm

Fonte: Autor.

De acordo com Heywood (2018), a taxa de consumo de óleo do motor costuma ser de aproximadamente 2 miligramas por segundo por litro de volume deslocado do motor (mg.L.s<sup>-1</sup>), essa quantidade de óleo perdido representa aproximadamente 0,3 % do consumo de combustível.

De acordo com os valores obtidos nas pesagens, o consumo médio de óleo lubrificante do motor amaciado foi 0,0158 mg.L.s<sup>-1</sup>, que representa 0,036 % do consumo de combustível. Os números obtidos são aproximadamente um décimo do valor indicado na bibliografia, ou seja, bem abaixo dos limites. Um motor novo consome uma quantidade maior de óleo lubrificante em relação a um motor já amaciado (CAMARGO, 2005), portanto o baixo valor obtido é um indicativo que este espécime de motor está amaciado.

## 4.2 DINAMOMETRIA

Outro indicativo do amaciamento de um motor é o aumento da potência, que decorre justamente do ajuste entre as partes móveis, assim ocorrendo a redução do atrito. Para obter-se dados de desempenho, realizaram-se dois ensaios dinamométricos no mesmo intervalo de tempo da coleta de amostras. Os dados de potência e torque, bem como as rotações correspondentes estão representados na Tabela 6. Os valores obtidos na dinamometria seguem a norma DIN 70020, e foram convertidos para a norma SAE J1995, por ser a norma comumente usada entre os fabricantes.

Tabela 6 - Potência e torque durante o amaciamento (SAE J1995).

Horímetro	Potência máxima (kW)	Rotação (rpm)	Torque máximo (N.m)	Rotação (rpm)
0 hm	86	1900	348	1755
2 hm	96	1900	381	1707
4 hm	96	1893	383	1651
6 hm	96	1900	381	1803
8 hm	96	1949	379	1693
10 hm	98	1900	385	1645

Fonte: Autor.

Ao serem realizadas as avaliações dinamométricas, obtiveram-se os valores finais de potência e torque, na ordem de 98 kW e 385 N.m, respectivamente, representando aumento de 13,95 % no valor da potência e 10,63 % para o torque. Observa-se um ganho de desempenho nas primeiras duas horas de operação, um aumento de 10 kW de potência e 33 N.m de torque. Ao longo do período de amaciamento, os valores mantiveram-se nesse patamar, até observar outro leve aumento na transição de 8 horas para 10 horas-máquina. Os relatórios de ensaio dinamométrico emitidos pelo Laboratório de Agrotecnologia constam no Anexo C e D.

A aferição do consumo de combustível se deu apenas no ensaio testemunha e final, e os valores para o consumo horário e consumo específico de combustível estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo de combustível.

Horímetro	Consumo horário (L.h <sup>-1</sup> )	Consumo específico (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )
0 hm	27,8	245
10 hm	27,3	221

Fonte: Autor.

Quanto ao consumo horário, houve uma redução de 27,8 para 27,3 L.h<sup>-1</sup>. Por sua vez, houve redução de 9,8 % no consumo específico, que está inversamente relacionada com o aumento da potência. Isso corrobora o fato de haver maior potência de atrito no motor novo que demanda consumo de energia para ser vencida, e quando há o amaciamento do motor, essa potência é direcionada para o trabalho.

Devido as condições do motor recém-instalado, os valores de potência não são compatíveis com a ficha técnica, a qual informa um valor de aproximadamente 132 kW, porém seguiu-se com amaciamento e as coletas de óleo lubrificante. Após esse período, o motor recebeu reparos de componentes e *software* de gerenciamento, quando novamente foi submetido a ensaio dinamométrico e obteve um valor para potência de 137,5 kW.

Considerando esses parâmetros, pode-se afirmar que o amaciamento do motor em dinamômetro foi efetivo para esse espécime, proporcionando inclusive valores de potência acima do esperado, que podem proporcionar melhora na eficiência operacional da máquina em campo.

### 4.3 ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE

As amostras de óleo lubrificante coletadas foram encaminhadas para espectrometria, que revelaram a concentração dos metais, Ferro e Cobre, provenientes do desgaste dos componentes internos do motor durante o período de amaciamento em dinamômetro. A concentração pode ser expressa por 1 micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de soluto dispersa em 1 grama (g) de solvente, ou em partes por milhão (ppm), considerando que, o Fe e o Cu são os solutos e o óleo lubrificante é o solvente.

O cobre é um dos metais de desgaste em motores a combustão interna que pode ser observado junto ao óleo lubrificante. Este é oriundo de mancais, buchas e peças de bronze, os quais são, componentes de mecanismos que estão em constante atrito. Os valores para a concentração de cobre no óleo lubrificante no período de amaciamento estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Concentração de cobre no óleo lubrificante.

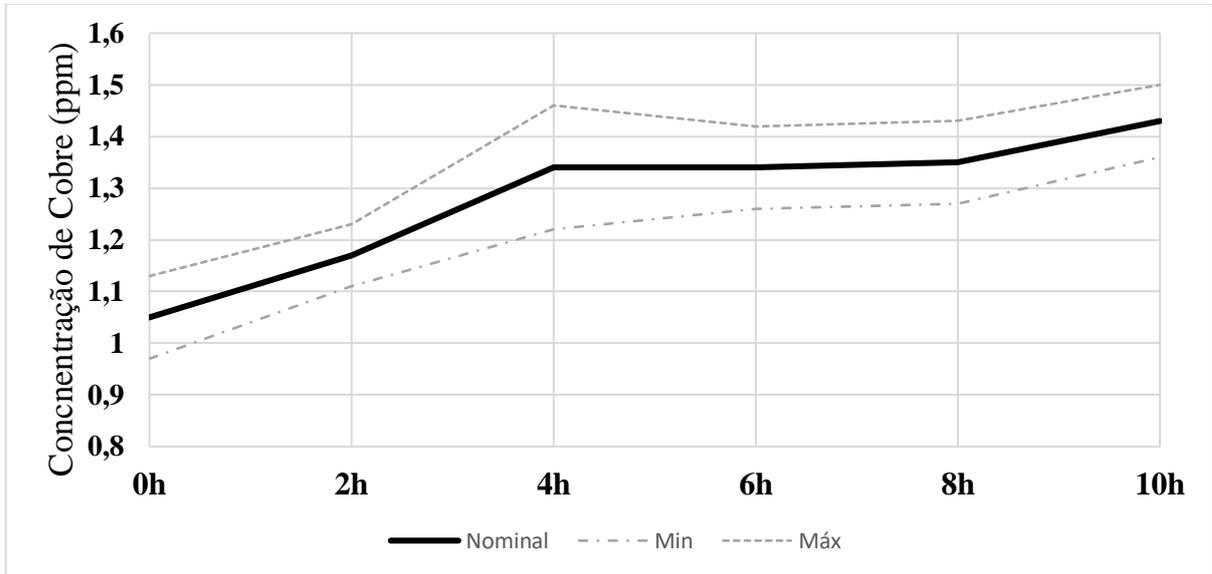
<b>Horímetro</b>	<b>Concentração de Cobre (ppm)</b>
0 hm	$1,05 \pm 0,08$
2 hm	$1,17 \pm 0,06$
4 hm	$1,34 \pm 0,12$
6 hm	$1,34 \pm 0,08$
8 hm	$1,35 \pm 0,08$
10 hm	$1,43 \pm 0,07$

Fonte: Autor.

De acordo com os valores, pode-se observar o aumento na concentração de cobre a partir da amostra de testemunha (0 hm), até o final do período de amaciamento (10 hm), partindo de 1,05 ppm para 1,43 ppm, que representando um aumento de 36,19 %. Os maiores aumentos são observados nas quatro primeiras horas-máquina de operação, estabiliza nas 4 horas seguintes e volta a aumentar nas duas horas finais, totalizando as 10 horas-máquina de amaciamento. Na

Figura 14 observa-se a curva de evolução da concentração de Cu, bem como aos intervalos das incertezas.

Figura 14 - Concentração de Cobre durante o amaciamento.



Fonte: Autor.

Embora haja aumento no número de partículas de cobre junto ao óleo lubrificante, os valores mantêm-se bem abaixo dos limites preconizados por MURARO (2016), que estabelece para um motor diesel a concentração máxima de 15 partículas por milhão.

Analisando os valores de concentração de ferro obtidos nas mostras, também observaram-se valores dentro do limite máximo preconizados por MURARO (2016). O ferro, por fazer parte da composição de cilindros, virabrequim, anéis, pistões etc., é um elemento de maior abundância na construção de um motor a combustão interna, e possui limites de concentração maiores em relação ao cobre. De acordo com MURARO (2016), a concentração máxima de Fe em óleo lubrificante é de 100 ppm. Os valores encontrados nas amostras estão conforme este limite, e encontram-se na Tabela 9.

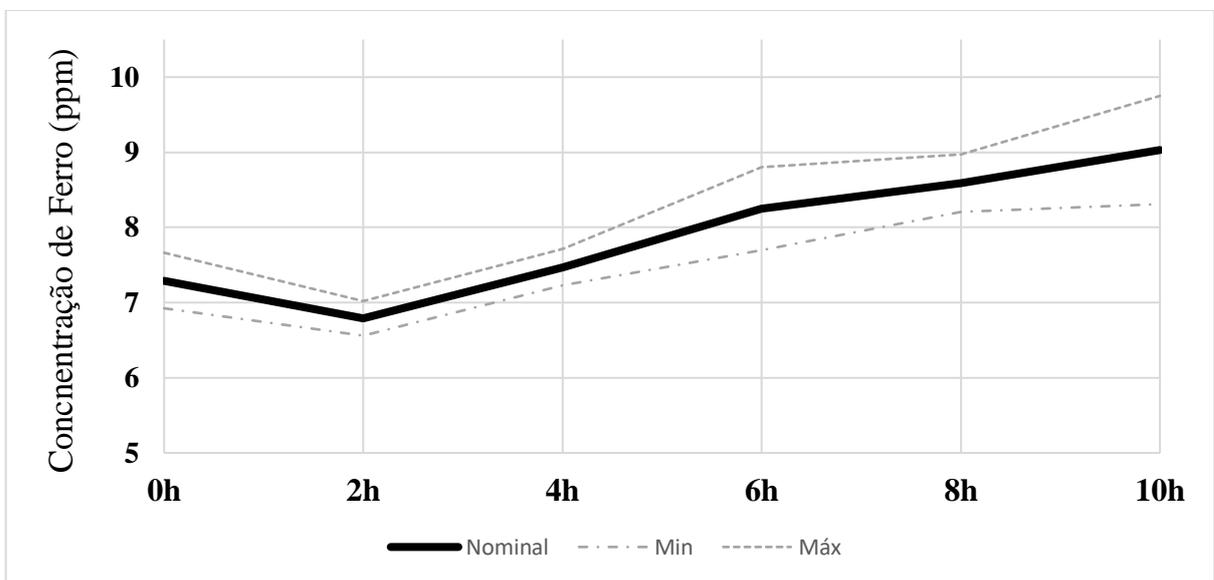
Tabela 9 - Concentração de Ferro no óleo lubrificante.

Horímetro	Concentração de Ferro (ppm)
0 hm	7,29 ± 0,37
2 hm	6,79 ± 0,23
4 hm	7,47 ± 0,24
6 hm	8,25 ± 0,55
8 hm	8,59 ± 0,38
10 hm	9,03 ± 0,72

Fonte: Autor.

A concentração inicial de Fe foi de 7,29 ppm, e o valor final após o período de amaciamento foi de 9,03 ppm, o que representa um aumento de 23,87 %, ou 1,74 ppm. A amostra referente às duas primeiras horas de operação apresentou um valor que aparentemente decresce, 6,79 ppm, porém ao se considera as incertezas de medição, pode-se afirmar que o valor não difere da concentração inicial. Isso indica que não houve um desgaste significativo nesse intervalo de tempo. A partir das quatro horas de operação já se observa valores de concentração aumentando, e esse comportamento segue até o final das 10 horas-máquina, conforme indica a Figura 15.

Figura 15 - Concentração de Ferro durante o amaciamento.

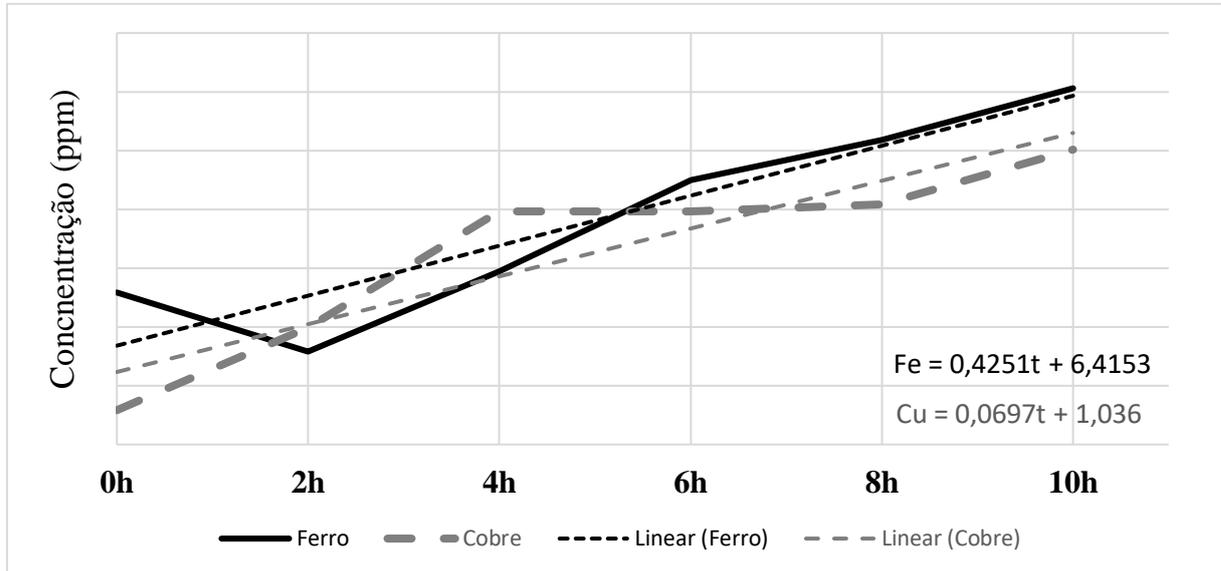


Fonte: Autor.

Analisando os valores obtidos de concentração, constata-se que os mesmos não atingiram os limites máximos permitidos pela bibliografia, sendo que, as sumas concentrações obtidas representam 9,53 % do limite para o cobre e 9,03 % para o ferro. Dessa forma, torna-se desnecessária a substituição do óleo lubrificante em razão da concentração de metais de desgaste, após concluído o amaciamento ou após as 100 primeiras horas-máquina. Essa exigência por parte de alguns fabricantes busca preservar a vida útil do motor, porém acarreta custos adicionais e impacto ambiental, pois há descarte de óleo ainda em condições de uso.

Considerando os valores de concentrações encontrados em função do tempo, gerou-se por meio de regressão linear equações que projetassem a evolução da presença de metais de desgaste junto ao óleo lubrificante, e assim estimar o período indicado para a substituição do óleo. A Figura 16 traz o comportamento das concentrações de ferro (Fe) e cobre (Cu) em partes por milhão (ppm) em função do tempo em horas-máquina (hm).

Figura 16 - Linhas de tendência de metais de desgaste.



Fonte: Autor.

Atentando-se as equações de tendência, e os limites de concentração máximas de metais de desgaste, foi possível estipular o intervalo de tempo até a próxima troca de óleo (Tabela 10). Considerando a tendência do cobre, o tempo de operação até atingir o limite de 15 ppm será de 200,34 hm. Já para o ferro, esse intervalo será de 220,15 hm, quando atingirá a concentração máxima permitida de 100 ppm.

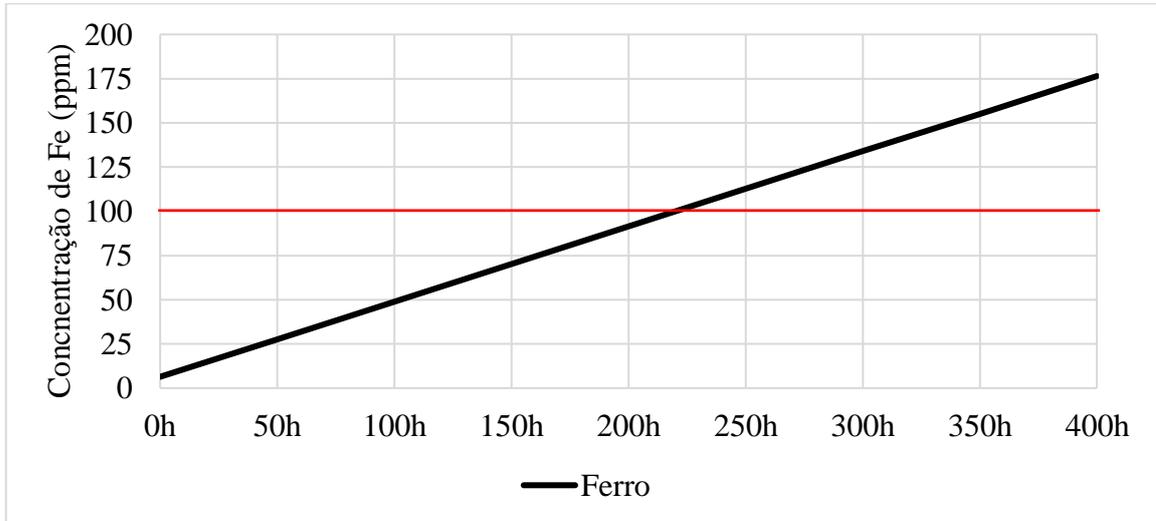
Tabela 10 - Intervalos de troca de óleo baseados na concentração de metais de desgaste.

Elemento	Limite	Tempo
Ferro	100 ppm	220,15 hm
Cobre	15 ppm	200,34 hm

Fonte: Autor.

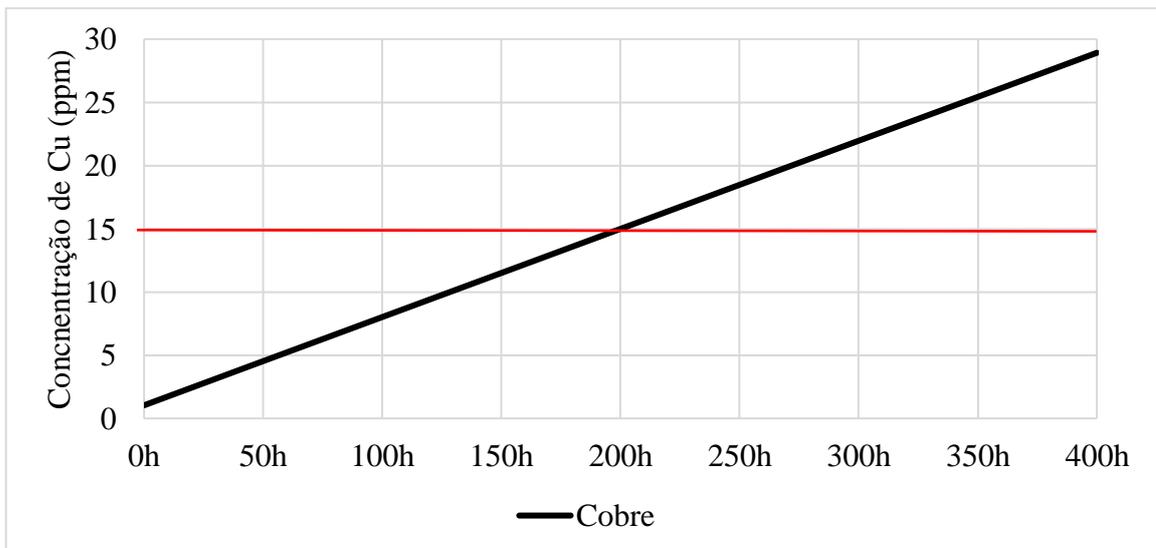
As estimativa para as concentrações de Fe e Cu para um período de 400 hm são de 176,46 e 28,92 ppm respectivamente, ultrapassando assim os limites estabelecidos. As projeções encontram-se nas Figuras 17 e 18, nas quais a linha vermelha estabelece o limite máximo de concentração.

Figura 17 - Projeção da concentração de Ferro.



Fonte: Autor.

Figura 18 - Projeção da concentração de Cobre.



Fonte: Autor.

Verificou-se que para planejar as trocas de óleo baseando-se nas concentrações de metais de desgaste, o intervalo entre trocas de óleo para esse espécime será de aproximadamente 200 hm, quando a concentração de cobre atinge o limite máximo.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos dados de consumo de óleo lubrificante, verificou-se que o consumo médio está abaixo dos limites preconizados, indicando que não há passagem excessiva de óleo para a câmara de combustão durante o amaciamento, indicando que o espécime está amaciado.

Os ensaios dinamométricos mostraram melhor resultado de performance após o período de amaciamento (10 hm em dinamômetro), com aumento de torque e potência chegando a 10,63 % e 13,95 % respectivamente, mantendo o patamar de consumo, que proporcionou redução do consumo específico em 9,8 %.

A análise do óleo lubrificante expôs os aumentos de 23,87 % na concentração de Fe e 36,19 % de Cu durante o período de amaciamento em dinamômetro. Embora ambos os elementos analisados apresentem tendência de aumento de concentração, não ultrapassaram, no período analisado, os limites máximos preconizados pela bibliografia de 15 ppm para o cobre e 100 ppm para o ferro. Portanto, não se faz necessária a troca do óleo lubrificante imediatamente ao final do período de amaciamento.

Baseando-se na tendência da concentração de metais de desgaste em função do tempo de operação obtida para este espécime, o intervalo entre trocas de óleo será de aproximadamente 200 hm.

Do decorrer do presente trabalho, foi possível estudar a evolução do desgaste e outros aspectos sobre o amaciamento de um espécime de motor de trator agrícola. Porém, devido às limitações, alguns fatores não foram verificados. Desta forma, surgem sugestões para futuros trabalhos referentes a este assunto:

- Aplicar esta metodologia para monitorar o amaciamento a campo.
- Submeter um motor a um maior período de amaciamento em dinamômetro.
- Comparar por meio da metodologia deste trabalho motores submetidos ao amaciamento em campo e em dinamômetro.
- Realizar maior número de pesagens de óleo e em menores intervalos de tempo.
- Utilizar uma amostragem maior de tratores e realizar um análise estatística.
- Analisar os componentes físicos do motor quanto ao desgaste.

## REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D., XAVIER, R.S., GARCIA, A. P., MARQUES, A. R., RODRIGUES, R. L. The technological level of agricultural mechanization in the state of Ceará, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 6, p. 133-138, jan./feb. 2019.
- BLAU, P. J. On the nature of running-in. **Tribology International**, v. 38, p. 1007-1012. 2005.
- CAMARGO, M. N. Sem medo de amaciar. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 42, p. 16-20, 2005.
- CARDILLE, D. M. **Uma abordagem a respeito do desgaste em materiais de camisas de cilindro de motores ciclo diesel atendendo as modernas leis de emissões**. Tese (Mestrado Profissional de Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.
- CASALI, L; SCHLOSSER, J. F. **Motores de tratores comercializados no Brasil**. Pelotas: Revista Cultivar Máquinas, 2021.
- CASTRO, R. N. Afinal, quanto o agronegócio representa no PIB brasileiro? **Cepea**, Piracicaba: out. 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/afinal-quanto-o-agronegocio-representa-no-pib-brasileiro.aspx>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. **Ciência Rural**, v.41, p.1189-1194, 2011.
- CULTIVAR MÁQUINAS. **Anuário de tratores 2021/22**. Pelotas: Revista Cultivar, 2021.
- DAVID, T. **Análise de Partículas de desgaste. Qualidade e Tecnologia**, n°.52, p.7-9, 2005.
- FARIAS, Marcelo Silveira de. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- FARIAS, Marcelo Silveira de. **Fuel Economy of Agricultural Tractors Using Different Transmissions And Driving Strategy**. 2016. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- FYGUERO, A.; SÍMON, J. **Mantenimiento de Motores Diesel. Consejo de Estudios de Postgrado**. Universidade de Los Andes. Mérida, 1997.
- GARCIA, M.B. **Características do desgaste de anéis de pistão com diferentes tecnologias de tratamentos superficiais**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares – IPEN – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, 2003.
- GASPARINI, C. T. **Um modelo de laboratório econômico para análises de óleos lubrificantes**. Revista da Associação dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, p. 38-41, 1983.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 3 - Eletromagnetismo**, 10ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788521632092. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521632092/>. Acesso em: 23 out. 2023.

HEYWOOD, John B. **Internal combustion engine fundamentals**. 2 ed. New York: MC Graw Hill Education, 2018.

LIMA, O. O.; MIRANDA, W. M.; **Aplicação e manutenção preditiva baseada na análise de lubrificantes e de parâmetros operacionais para a detecção de falhas em motores diesel de equipamentos de construção**. 9ª Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF 2017.

LUBES EM FOCO. Revista Lubes em Foco, Fev/Mar 2010, no 17.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y utilización**. 1 ed. España: Blake y Helsey España S. L., 2012.

MASSEY FERGUSON. **Tratores**. Massey Ferguson. Disponível em: [https://www.masseyferguson.com/pt\\_br/product/tractors/mf-7300.html](https://www.masseyferguson.com/pt_br/product/tractors/mf-7300.html). Acesso em: 04 mai. 2023.

MURARO, Marco Antonio. **Efeito do uso de recirculação de gases de exaustão (EGR) na contaminação do lubrificante e no desgaste de anel e camisa de motor de combustão interna com ciclo diesel**. 2016. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PAWEL, P. **Change of cylinder surface topography in initial stage of engine life**. Wear. Vol. 209, pp. 69-83. 1997.

SKOOG, D. A. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Thomson, 2006. p. 68-76.

SILVEIRA, E. L. C.; COELHO, R. C.; NETO, J. M. M.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. **Quim. Nova**, v. 33, p. 1863-1867, 2010.

SIMONE, M. E.; DRAGHI, L.; HILBERT, J. A.; JORAJURIA, C. D. **El Tractor Agrícola – fundamentos para su selección y uso**. Argentina: Almalevi, 2006. 255p.

TELECURSO 2000 Manutenção 33 Análise de lubrificantes por meio da técnica ferrográfica. 1 vídeo (16 min). Direção geral Carlos Nascimbeni. São Paulo: TVN, 2000. Publicado pelo canal Bruno Fernandes de Freitas. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=0\\_99xf-wmyI&list=PL0A-NmNOY--R4IGxApVdI1y-8gp4icgPW&index=33](https://www.youtube.com/watch?v=0_99xf-wmyI&list=PL0A-NmNOY--R4IGxApVdI1y-8gp4icgPW&index=33). Acesso em: 31 março 2023.

## ANEXO A – FICHA TÉCNICA MF 7300 DYNA-3



www.masseyferguson.com.br

masseyfergusonbrasil

masseyfergusonbr

masseyfergusonbr

## MF 7300 Dyna-3. EFICIENTE EM TUDO.

	MF 7316	MF 7318
<b>Tração</b>	4x4	
<b>MOTOR</b>		
Modelo	AGCO Power 49CW3	
Combustível	Diesel ou Biodiesel B100 - ANP 07/2008	
Potência máx. motor - cv @ 2100 rpm	160	180
Torque máximo (Nm) @ 1500 rpm	642	699
Cilindrada (cm³)	4900	
N. de cilindros - aspiração	4 - Turbo intercooler	
Sistema de Injeção	Common Rail, Injeção Direta	
<b>EMBREGEM</b>		
Tipo	Multidisco úmida	
Acionamento	Eletro-hidráulica	
<b>TOMADA DE POTÊNCIA</b>		
Tipo	Independente	
Acionamento	Eletro-hidráulico	
Velocidades (rpm - rpm do motor)	540 - 1874 / 1000 - 2000	
Opções de velocidades (rpm)	540/1000	
Potência máxima (cv) @ 2100	130	154
<b>TRANSMISSÃO</b>		
Tipo	PowerShift com troca automática dentro dos grupos	
Número de marchas	18Fx18R	
Reversão	Power-Shuttle (Reversão abaixo de 2 km/h)	
<b>PROGRAMAÇÃO DA TRANSMISSÃO</b>		
Modo Auto 1	Troca de marchas automática por carga do motor	
Modo Auto 2	Troca de marchas automática baseada em rotações definidas pelo operador	
Modo Auto N	Posição neutro quando é acionado o pedal do freio ou está abaixo de 1200 rpm	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>		
Tipo de bomba	Fluxo constante e Bomba de vazão variável	
Categoria de levante	II	
Tipo de controle	Eletro-hidráulico	
Vazão de bomba (l/min)	90 - Fluxo constante 162 - Bomba de Vazão Variável	
Capacidade de levante máx. Olhal (kgf)	8.000	
Válvula de controle remoto	2 válvulas de dupla ação, sendo 1 com destrave automático	
Opcional	<b>Bomba de vazão variável</b> Bomba de Pistão - 3 ou 4* válvulas de dupla ação com saídas controladas	
<b>FREIOS</b>		
Tipo	Multidiscos à barbo de óleo	
Acionamento	Hidráulico	
Freio de estacionamento - tipo	Manual acionado por alavanca	
<b>DIREÇÃO</b>		
Tipo	Hidroestática	
<b>DIMENSÕES C/ PNEUS STD</b>		
Distância entre eixos (mm)	2858	
Comprimento total (mm)	5456	
Altura total (mm)	3083	
Largura total (mm)	2558	
Vão livre na barra de tração (mm)	360	
Bitolas traseira min - máx (mm)	1598 ou 2187	
Raio de giro	5200	
<b>CAPACIDADES</b>		
Tanque de combustível (l)	200 / 380	
<b>POSTO DE OPERAÇÃO</b>		
Tipo	Cabine	
<b>RODADOS</b>		
Traseiro	Dianteiro	
24.5-32R1 10P	18.4-26R1 10PR	
23.1-30R1 12PR	14.9-28R1 8PR	
23.1-30R2 8PR	14.9-28R2 6PR	
20.8-38R1 10PR Dupla	18.4-26R1 10PR	
*Consultar disponibilidade		
<b>TECNOLOGIA EMBARCADA</b>		
Piloto Automático (Ready)		
Massey Ferguson Guide, by Trimble Centimétrico (Rádio RTK Trimble ou Satel) (Opc)		
Massey Ferguson Guide, by Trimble Decimétrico (Opc)		
O trator quando preparado para trabalhar com piloto automático, já estará compatível com o Massey Ferguson Guide, by Trimble e o Auto Guide 3000, que podem ser adquiridos através do canal de peças na rede de concessionárias		
<b>OPCIONAIS</b>		
Kit prolongador do eixo dianteiro (3 metros)		
Kit boca de lobo		
Barra de tração com pino bola		
Para-lama dianteiro		

## ANEXO B - PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DE FE E CU EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE MOTOR

### **Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais**

REG. CRQ 5º. 4.164

Setor de Química Industrial e Ambiental

Depto. de Química/CCNE – Universidade Federal de Santa Maria

#### **1. Preparo das amostras**

O procedimento de preparo de amostra é realizado por meio da decomposição por via úmida assistida por radiação micro-ondas (MAWD). Para isso, aproximadamente 0,250 g de amostra são pesadas diretamente em frascos de vidro com capacidade de 15 mL, e são adicionados 6 mL de ácido nítrico P.A. (37%, 1,19 kg L<sup>-1</sup>, Merck), previamente destilado em sistema de destilação *sub-boiling* (modelo duoPUR, Milestone, Itália). Após, é submetido ao procedimento de decomposição utilizando um forno de micro-ondas (modelo UltraWave®, Milestone, Itália), que possui câmara única de reação (SRC), fazendo-se uma triplicata e dois brancos para cada amostra. Em seguida, os frascos de vidro são inseridos em um rotor com capacidade máxima de 15 posições, os quais foram fechados com tampas de PTFE. O programa de irradiação consiste em quatro etapas: *i*) 10 min a 130°C (rampa de 10 min), *ii*) 5 min a 250°C (rampa de 5 min), *iii*) 30 min a 250 °C (rampa de 10 min), e *iv*) 30 min até 45°C (resfriamento). Após o procedimento de decomposição, os digeridos são recolhidos em frascos de polipropileno de 50 mL e avolumados a 25 mL com água ultrapura.

#### **2. Determinação de ferro e cobre**

A determinação de Fe e Cu é feita utilizando um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (Spectro Ciros CCD®, Spectro Analytical Instruments, Alemanha). Esse equipamento possui um nebulizador do tipo cross-flow (Spectro Analytical Instruments), câmara de nebulização de duplo passo (Scott, Spectro Analytical Instruments) e tocha com injetor de quartzo (Spectro EOP Quartz Torch, Glass Expansion, Austrália).

*Ficamos à disposição para esclarecimentos que se façam necessários.*

Elaborado por: Gustavo R. Bitencourt

Fone: (55) 3220-9445

## ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO TESTEMUNHA



## Massey Ferguson 7318 Dyna-3 - 12/05/2023



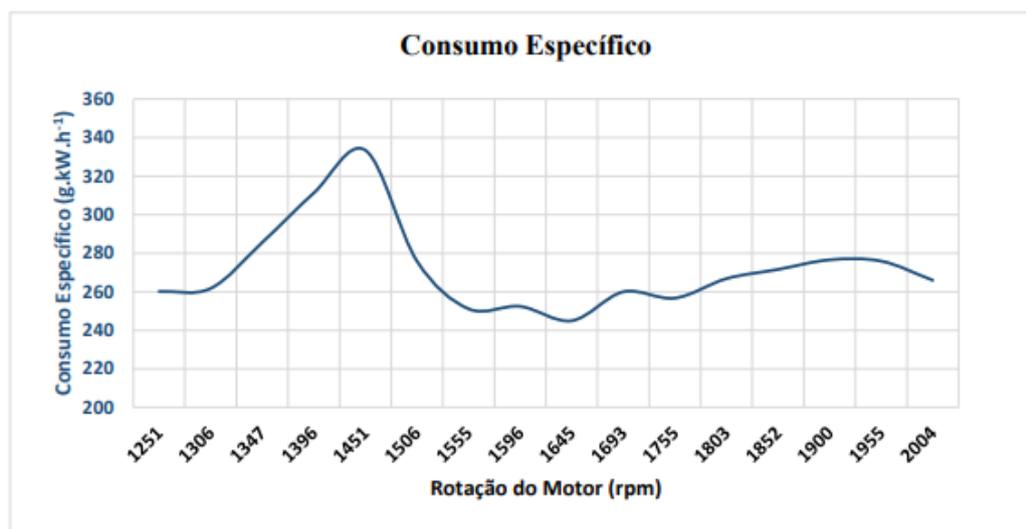
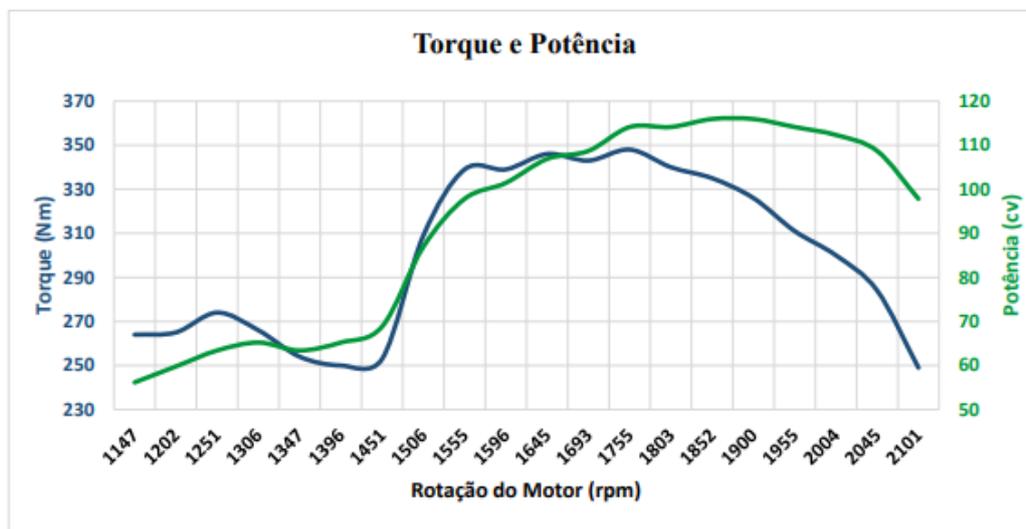
Solicitante: Itaimbé Máquinas

## Características do Trator



Tipo:	4x2 TDA
País de Fab.:	Brasil
Ano de Fab.:	2022
Nº de horas:	1413,5
Trasmissão:	Dyna-3
Nº Marchas:	18x18
EPCC:	Cabinado
Motor/Marca:	AGCO Power
Modelo:	49CW3
Chassi:	9AGT2019TMM005016

Rotação (rpm)	Torque (N.m)	Potência (cv)	Ch (L/h)	Ce (g/cv.h)
2101	249	98	20,8	245,2
2045	284	109	23,1	245,1
2004	300	112	25,9	265,9
1955	311	114	27,3	275,9
1900	326	116	27,8	276,5
1852	335	116	27,3	271,6
1803	340	114	26,4	266,8
1755	348	114	25,4	256,7
1693	343	109	24,5	260,0
1645	346	107	22,7	244,9
1596	339	101	22,2	252,4
1555	339	98	21,3	251,1
1506	309	87	20,8	275,9
1451	253	69	19,9	333,4
1396	250	65	17,6	311,2
1347	254	63	15,7	285,6
1306	266	65	14,8	261,7
1251	274	63	14,3	260,1
1202	265	60	13,9	268,2
1147	264	56	13,0	267,0
Torque máx.			348	N.m
Rotação de torque máx.			1755	rpm
Potência máx.			116	cv
Rotação de potência máx.			1900	rpm
Reserva de torque			6	%
Cons horário máx.			27,8	L/h
Faixa de utilização			145	rpm
Elasticidade			1,16	
Consumo específico min.			245	g/kW.h



Relação de transmissão      3,76      Densidade combustível      0,848      g/L

Salientamos, para os devidos fins, que este documento diz respeito a uma avaliação experimental de um espécime, portanto não pode ser considerado como uma perícia técnica. Potência segundo norma SAE J1995. Foram considerados 17% de perdas entre o motor e a TDP.

Equipe: José Fernando Schlosser, Cesar Gabriel dos Santos, João Pedro Gallina, Junior Garlet Osmari.  
 Data: 12/05/2023

## ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO FINAL



## Massey Ferguson 7318 Dyna-3 - 12/05/2023



Solicitante: Itaimbé Máquinas

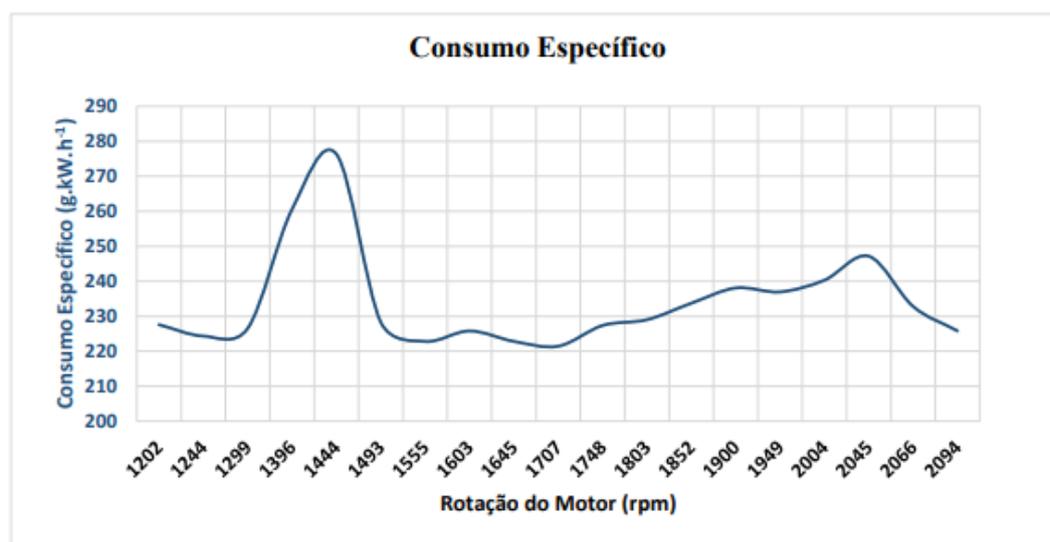
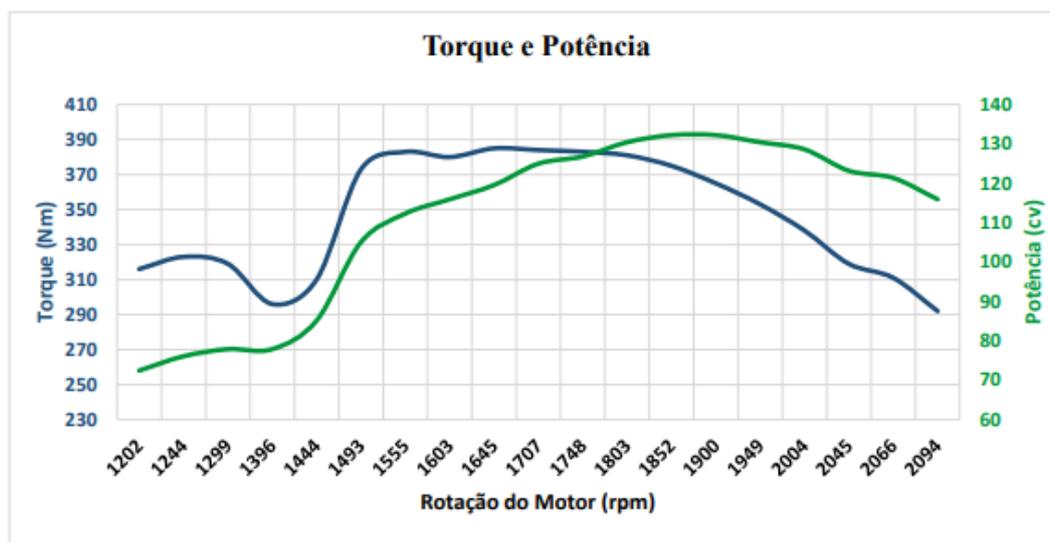
## Características do Trator



Tipo:	4x2 TDA
País de Fab.:	Brasil
Ano de Fab.:	2022
Nº de horas:	1423,5
Trasmissão:	Dyna-3
Nº Marchas:	18x18
EPCC:	Cabinado
Motor/Marca:	AGCO Power
Modelo:	49CW3
Chassi:	9AGT2019TMM005016

Rotação (rpm)	Torque (N.m)	Potência (cv)	Ch (L/h)	Ce (g/cv.h)
2094	292	116	22,7	225,8
2066	311	121	24,5	232,8
2045	319	123	26,4	247,2
2004	338	129	26,8	240,3
1949	353	130	26,8	237,0
1900	365	132	27,3	238,1
1852	375	132	26,8	233,7
1803	381	130	25,9	229,0
1748	383	127	25,0	227,4
1707	384	125	24,0	221,4
1645	385	120	23,1	222,8
1603	380	116	22,7	225,8
1555	383	112	21,7	222,8
1493	373	105	20,8	228,3
1444	310	85	20,4	276,3
1396	296	78	17,6	260,6
1299	319	78	15,3	226,5
1244	323	76	14,8	224,3
1202	316	72	14,3	227,6

Torque máx.	385	N.m
Rotação de torque máx.	1596	rpm
Potência máx.	132	cv
Rotação de potência máx.	1852	rpm
Reserva de torque	3	%
Cons horário máx.	27,3	L/h
Faixa de utilização	256	rpm
Elasticidade	1,19	
Consumo específico mín.	221	g/kW.h



Relação de transmissão                      3,76                      Densidade combustível                      0,848                      g/L

Salientamos, para os devidos fins, que este documento diz respeito a uma avaliação experimental de um espécime, portanto não pode ser considerado como uma perícia técnica. Potência segundo norma SAE J1995. Foram considerados 17% de perdas entre o motor e a TDP.

Equipe: José Fernando Schlosser, Cesar Gabriel dos Santos, João Pedro Gallina, Junior Garlet Osmari.  
Data: 12/05/2023

## ANEXO E – LAUDO DA ESPECTROMETRIA



**LAQIA – LABORATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS**

Reg. CRQ 5ª. 4.164  
Setor de Química Industrial e Ambiental  
Depto. de Química/CCNE – Universidade Federal de Santa Maria

SANTA MARIA, 26 DE JULHO DE 2023

**LAUDO ANALÍTICO:** 066/23

**RAZÃO SOCIAL/INTERESSADO:** Junior Garlet Osmari

**A/C Sr.:** Junior Garlet Osmari

**ENDEREÇO:** Av. Roraima, prédio 75 Agrotec

**BAIRRO:** Camobi

**CIDADE:** Santa Maria

**UF:** RS

**N°:** 1000

**CEP:** 97105-900

**FONE:** (55) 999511237

**CNPJ/CPF:** 038.746.500-65

**INSC. MUN.:** -

**INSC. EST.:** -

**DATA DE NASCIMENTO:** -

**E-MAIL:** juniorosmarinp@gmail.com

**DATA DE RECEBIMENTO:** 19/05/2023

**MATERIAL DE ANÁLISE:** Seis (06) amostras de óleo lubrificante de motor. As amostras foram coletadas e enviadas pelo interessado.

Parâmetros	Cobre, $\mu\text{g g}^{-1}$	Ferro, $\mu\text{g g}^{-1}$
Amostra 0	1,05 $\pm$ 0,08	7,29 $\pm$ 0,37
Amostra 1	1,17 $\pm$ 0,06	6,79 $\pm$ 0,23
Amostra 2	1,34 $\pm$ 0,12	7,47 $\pm$ 0,24
Amostra 3	1,34 $\pm$ 0,08	8,25 $\pm$ 0,55
Amostra 4	1,35 $\pm$ 0,08	8,59 $\pm$ 0,38
Amostra 5	1,43 $\pm$ 0,07	9,03 $\pm$ 0,72

**Legenda:**  $\mu\text{g g}^{-1}$  = micrograma por grama.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ERICO MARLON DE MORAES FLORES  
Data: 26/07/2023 15:18:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Érico M. M. Flores**

Químico Industrial - CRQ 5ª. Região nr. 05200629

**LAQIA – LABORATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS – Reg. CRQ 5ª. 4.164**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - Depto. de Química/CCNE - Setor de Química Industrial e Ambiental  
Campus - Camobi - 97.105-900 Santa Maria, RS

☎ (0xx55) 3220.9445 / 3220.8802