

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DE MOTORES DE  
TRATORES AGRÍCOLAS UTILIZANDO  
DINAMÔMETRO MÓVEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcelo Silveira de Farias**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**



# **AVALIAÇÃO DE MOTORES DE TRATORES AGRÍCOLAS UTILIZANDO DINAMÔMETRO MÓVEL**

**Marcelo Silveira de Farias**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silveira de Farias, Marcelo  
Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando  
dinamômetro móvel / Marcelo Silveira de Farias.-2014.  
162 p.; 30cm

Orientadora: José Fernando Schlosser  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014

1. Motores Diesel 2. Dinamometria 3. Desempenho I.  
Schlosser, José Fernando II. Título.

---

© 2014 Marcelo Silveira de Farias

Todos os direitos autorais reservados a Marcelo Silveira de Farias. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser realizada com autorização por escrito do autor.

E-mail: [silveira\\_farias@hotmail.com](mailto:silveira_farias@hotmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DE MOTORES DE TRATORES AGRÍCOLAS  
UTILIZANDO DINAMÔMETRO MÓVEL**

elaborada por  
**Marcelo Silveira de Farias**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**Comissão Examinadora**

---

**José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)**

---

**Rouverson Pereira da Silva, Dr. (UNESP)**

Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2014.



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

...aos meus amados pais, Luis Antero Cavalheiro de Farias e Naura Silveira de Farias, que mesmo diante de muitas dificuldades oportunizaram-me os melhores estudos e sempre colocaram seus três filhos como suas prioridades. E pela educação, ensinamentos, dedicação, amor e carinho. A vocês, meu eterno muito obrigado.

...aos meus irmãos, Raíssa Silveira de Farias e Rodrigo Silveira de Farias, pelo companheirismo, amor, amizade, alegrias e, até mesmo, pelos desentendimentos, pois serviram para nosso crescimento familiar.

...aos meus avós maternos, Ramiro Silveira e Dorvalina Silveira, que apesar do pouco entendimento a cerca das minhas atividades escolares, realizadas na cidade, sempre me incentivaram a estudar e a “cuidar dos caderno”.

...a minha amiga e companheira Thirssa Helena Grando, que, apesar dos poucos anos de convivência juntos, sempre demonstrou muito amor, carinho e compreensão, me apoiando em todas as decisões importantes de minha vida.





## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela existência e oportunidades concedidas, me concedendo saúde, paz e tranquilidade nos momentos mais decisivos;

Aos meus pais, Luis Antero e Naura pelos ensinamentos e pela crença e confiança que sempre depositaram em mim. De um jeito simples e sincero, vocês me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente;

A Universidade Federal de Santa Maria, instituição que me acolheu e me tornou um profissional qualificado;

Ao grande amigo e orientador Professor José Fernando Schlosser, pelos ensinamentos, companheirismo, convívio e conselhos durante todos esses anos que estive presente no Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas como aluno bolsista de iniciação científica;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa e auxílio financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho;

Aos colegas, Ulisses Giacomini Frantz, Fabrício Azevedo Rodrigues, Juan Paulo Barbieri, Eduardo Jaehn, Javier Solis Estrada, Iury Yago Port Rüdell, Leandro Correa Ebert, Helena Silva Oliveira, Daniel Uhry, Pablo Gustavo da Silva Ferrer, Vinícius Paim Alende pelo convívio, companheirismo e amizade;

Aos demais amigos e colegas de departamento Eder Dornelles Pinheiro, Marçal Elizandro Dornelles, Gustavo Heller Nietiedt, Alexandre Russini, André Luis Casali, Rodrigo Lampert Ribas, Leonardo Brondani, Niumar Dutra Aurélio, Pietro Furian Araldi, Paula Machado dos Santos, Marivan da Silva Pinho,

Aos funcionários técnico-administrativos, Alberi Barbosa, Manoel Zeri Silveira Martins e Sérgio Borges pelo companheirismo e auxílio no deslocamento da equipe de trabalho, ferramental e equipamentos necessários para a realização dos ensaios dinamométricos;

A Itaimbé Máquinas, Super Tratores, Verdes Vales e Tritec, empresas concessionárias de máquinas agrícolas, que disponibilizaram alguns de seus tratores agrícolas para a realização deste trabalho;

A todos os meus amigos, que de uma forma ou de outra sempre me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu sincero, muito obrigado!



“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos”.

Charles Chaplin



## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **AVALIAÇÃO DE MOTORES DE TRATORES AGRÍCOLAS UTILIZANDO DINAMÔMETRO MÓVEL**

AUTOR: MARCELO SILVEIRA DE FARIAS  
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER  
Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2014.

O trator é a máquina agrícola mais utilizada na maioria das operações mecanizadas em uma propriedade rural. Este fato gerou um aumento na produção e comercialização de tratores agrícolas. Juntamente com o aumento de produção dessas máquinas, surgiram dúvidas relacionadas à precisão das informações técnicas fornecidas pelos fabricantes. Nesse sentido, o desempenho do motor de um trator agrícola pode ser conhecido por meio de ensaios dinamométricos, que possibilitam o rápido diagnóstico do seu funcionamento, bem como a identificação de suas características básicas. Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho foi comparar os valores de torque e potência efetiva do motor de tratores agrícolas novos, a partir de ensaios realizados em bancada dinamométrica móvel com as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes. Buscou-se especificamente, no que diz respeito aos valores de torque, potência efetiva e ruído emitido pelo motor, comparar diferentes marcas e modelos de tratores agrícolas novos comercializados por meio do programa Mais Alimentos; comparar motores agrícolas de mesma potência bruta; avaliar a adição de turbo compressor em um motor agrícola; avaliar o nível de ruído emitido pelos motores agrícolas durante a realização do ensaio dinamométrico e comparar com os limites máximos de tolerância estabelecidos pela Norma Regulamentadora NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego. Para tanto foi utilizado um dinamômetro móvel de correntes de Foucault, da marca EGGERS, modelo PT 301 MES. Como conclusão verificou-se que a potência efetiva dos motores dos tratores agrícolas da Classe IV é maior em comparação aos valores informados pelos fabricantes. Para os motores de tratores da Classe III, os valores avaliados de torque são maiores quando comparado com os informados pelos fabricantes, enquanto que para os da Classe V esses valores foram menores.

**Palavras-chave:** Motores diesel. Dinamometria. Desempenho.



## **ABSTRACT**

Master's Dissertation in Agricultural Engineering  
Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **EVALUATION OF AGRICULTURAL TRACTORS ENGINES BY USING A PORTABLE DYNAMOMETER**

**AUTHOR: MARCELO SILVEIRA DE FARIAS**  
**ADVISOR: DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER**  
Santa Maria, February 25<sup>th</sup>, 2014.

Tractors are the most used agricultural machines in most mechanized operations in a rural property. This has raised agricultural tractors production and trading. Together with such production raise, questions have also been raised in relation to technical information accuracy provided by manufacturers. In this sense, the performance of an agricultural tractor engine can be known through dynamometric trials, which enable a fast diagnosis of the engine work, as well as the identification of its basic characteristics. This way, the main objective of this work was to compare torque and effective power values of new agricultural tractors engines, from trials realized in portable dynamometer bench with technical information provided by manufacturers. Concerning torque, effective power values and noise emitted by the engine, the objective is specifically to compare different makes and models of new agricultural tractors traded through the program Mais Alimentos; compare tractor motors with the same gross power; evaluate the addition of turbocharger in a agricultural engine; evaluate the sound-level emitted by agricultural engines during dynamometric trials and compare it to the maximum levels established by the Ministry of Labour and Employment regulating norm NR 15. For that, it is used an EGGERS portable eddy current dynamometer, model PT 301 MES. As conclusion, it was verified that Class IV agricultural tractors engines effective power is bigger in comparison to the values provided by manufacturers. As for Class III tractor engines, torque values assessed were bigger when compared to the manufacturers' values, while Class V motors presented smaller values.

**Keywords:** Diesel engines. Dynamometry. Performance.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento do mercado nacional de tratores agrícolas durante o período de 1960 até 2012. ....	36
Figura 2 - Concentração de tratores agrícolas nas regiões brasileiras no ano de 2006. ....	38
Figura 3 - Vendas internas de tratores agrícolas de rodas no Brasil por faixa de potência, durante os anos de 1999 a 2010. ....	38
Figura 4 - Representatividade das vendas internas de tratores agrícolas de rodas no Brasil por faixa de potência, referente ao ano de 2010. ....	39
Figura 5 - Principais componentes de um motor endotérmico alternativo. ....	43
Figura 6 - Curvas características de dois motores de tratores agrícolas: curvas características de um motor “clássico” (a) e curvas características de um motor com “potência extra” (b). ....	46
Figura 7 - Esquema de funcionamento do fluxo de gases e ar no turbo compressor.....	51
Figura 8 - Relação de potência e máximo desempenho de energia mecânica esperado para um trator agrícola com tração simples sobre pista de concreto.....	60
Figura 9 - Curvas características de desempenho de um motor Diesel e os principais pontos caracterizadores do funcionamento a plena carga. ....	62
Figura 10 - Dinamômetro móvel da marca EGGERS, modelo PT 301 MES utilizado na condução dos ensaios de motores agrícolas. ....	65
Figura 11 - Alguns dos principais componentes de um dinamômetro de correntes de Foucault.....	67
Figura 12 - Tela principal do <i>Software</i> EGGERS Power Control V3.2.....	68
Figura 13 - Gerador de energia elétrica da marca Branco, modelo BD-8000 E, utilizado para o acionamento do dinamômetro móvel. ....	69
Figura 14 - Tacômetro foto/contato digital da marca Minipa, modelo MDT-2238A, utilizado para a determinação das rotações da TDP e do motor dos tratores agrícolas avaliados.....	70
Figura 15 - Termo-higrômetro da marca Icel, modelo WM-1850, utilizado para a determinação momentânea das condições atmosféricas.....	71
Figura 16 - Decibímetro da marca Bruel & Kjaer, modelo type 2240, utilizado para avaliação do nível de ruído no posto de operação durante os ensaios. ....	72
Figura 17 - Tela principal do <i>Software</i> TRANSPOT 1.0 (2010) utilizado para comparar os valores de torque e potência verificados (ensaio dinamométrico) e especificados (fabricante). ....	76
Figura 18 - Modelos de tratores agrícolas avaliados: Massey Ferguson, modelo MF 4275 (a); Valtra, modelo A750 (b); John Deere, modelo 5078E (c) e New Holland, modelo TL 75E (d). ....	77

Figura 19 - Marca e modelo de trator agrícola que equipava os motores avaliados: Massey Ferguson, modelo MF 4275. ....	78
Figura 20 - Marca e modelo de trator agrícola que equipava o motor avaliado: Massey Ferguson, modelo MF 4275.....	79
Figura 21 - Motor sem turbo compressor (configuração original), com a presença do silenciador (a) e com o turbo compressor, sem a presença do silenciador (b). ....	81
Figura 22 - Dinamômetro móvel e trator agrícola devidamente posicionados e acoplados por meio de uma árvore cardan.....	83
Figura 23 - Medição do nível de ruído que chega ao ouvido do operador (a) e procedimento utilizado para realização de tal medição (b). ....	85
Figura 24 - Disposição dos tratores agrícolas que tiveram seus motores ensaiados conforme a classificação proposta. ....	93
Figura 25 - Distribuição dos tratores agrícolas avaliados quanto à marca comercial. ....	94
Figura 26 - Distribuição de motores quanto à marca comercial. ....	94
Figura 27 - Distribuição dos motores agrícolas avaliados quanto ao tipo. ....	95
Figura 28 - Valores de potência (a) e torque (b) em função do volume interno do motor. Potência (c) e torque (d) para os diferentes números de cilindros do motor de todos os tratores agrícolas avaliados, de acordo com dados do fabricante.....	97
Figura 29 - Representação dos valores de torque do motor especificados pelo fabricante e observados por meio dos ensaios dinamométricos dos tratores agrícolas da Classe II (a); Classe III (b); Classe IV (c) e Classe V (d). ....	102
Figura 30 - Representação dos valores de potência efetiva especificados pelo fabricante e observados por meio dos ensaios dinamométricos dos tratores agrícolas da Classe II (a); Classe III (b); Classe IV (c) e Classe V (d). ....	105
Figura 31 - Valores de reserva de torque em função da potência efetiva do motor dos tratores agrícolas avaliados. ....	106
Figura 32 - Valores mínimos, médios e máximos de reserva de torque ( $\Delta M$ ) dos motores avaliados por classes de potência. ....	107
Figura 33 - Curvas de torque em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA. ....	111
Figura 34 - Curvas de tendência de torque do motor dos modelos de tratores agrícolas 5078E (a), MF 4275 (b), TL 75E (c) e VT A750 (d), comercializados por meio do programa Mais Alimentos.....	112
Figura 35 - Curvas de potência efetiva em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA. ....	115
Figura 36 - Curvas de tendência de potência efetiva para os tratores agrícolas avaliados: John Deere 5078E (a), Massey Ferguson MF 4275 (b), New Holland TL 75E (c) e Valtra A750 (d). ....	116

Figura 37 - Curvas de potência e ruído em função da rotação do motor do modelo MF 4275 (a), TL 75E (b), 5078E (c) e A750 (d). .....	119
Figura 38 - Curvas de ruído em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA. ....	120
Figura 39 - Curvas de torque e potência efetiva em função da rotação do motor das duas marcas de motores agrícolas avaliadas.....	123
Figura 40 - Curva de tendência de ruído para os motores Perkins e MWM <i>International</i> .....	125
Figura 41 - Curvas de ruído em função da rotação do motor das duas marcas de motores avaliadas. ....	126
Figura 42 - Curvas de potência e ruído em função da rotação do motor Perkins (a) e MWM <i>International</i> (b).....	127
Figura 43 - Curvas de torque em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.....	129
Figura 44 - Curva de tendência de torque para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB). ....	131
Figura 45 - Curvas de potência efetiva em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.....	133
Figura 46 - Curva de tendência de potência para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB). ....	135
Figura 47 - Curvas de ruído em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.....	137
Figura 48 - Curva de tendência de ruído para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB).....	138
Figura 49 - Nível de ruído mínimo, médio e máximo emitido pelo motor e que chega ao ouvido do operador dos tratores agrícolas sem cabine por classe de potência.....	139
Figura 50 - Tempo de exposição máxima permissível do operador no posto de operação do tipo plataformado, de acordo com a NR 15, em função dos valores de ruído mínimo, médio e máximo mensurados para as classes de potência.....	140
Figura 51 - Nível de ruído mínimo, médio e máximo emitido pelo motor que chega ao ouvido do operador dos tratores agrícolas com cabine para as Classes III, IV e V de potência.....	141
Figura 52 - Tempo de exposição máxima permissível do operador no posto de operação do tipo cabinado, de acordo com a NR 15, em função dos valores de ruído mínimo, médio e máximo mensurados para as Classes III, IV e V de potência. ....	142



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Marca, modelo, nº de espécimes e potência bruta do motor dos tratores agrícolas avaliados.....	75
Tabela 2 - Resumo das principais características dos motores que equipam os modelos de tratores agrícolas avaliados. ....	77
Tabela 3 - Valores de potência e torque especificados pelo fabricante e observados por meio de ensaios dinamométricos e as diferenças percentuais (variáveis especificadas – variáveis observadas) para os 40 tratores avaliados. ....	98
Tabela 4 - Resumo da análise estatística (teste t de <i>Student</i> ) das médias de duas amostras (especificado e observado) para a variável resposta torque do motor. ....	101
Tabela 5 - Resumo das análises estatísticas (teste t de <i>Student</i> ) das médias de duas amostras (especificado e observado) para a variável resposta potência efetiva. ....	103
Tabela 6 - Resumo da análise de variância de torque (N.m), potência efetiva (kW) e ruído (dB) obtido a partir dos ensaios dinamométricos na TDP. ....	108
Tabela 7 - Análise de variância para a variável torque do motor.....	109
Tabela 8 - Teste de Tukey para a variável torque. ....	110
Tabela 9 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor para as quatro marcas avaliadas. ....	113
Tabela 10 - Análise de variância para a variável potência efetiva. ....	113
Tabela 11 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva. ....	114
Tabela 12 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de potência efetiva para as quatro marcas avaliadas.....	116
Tabela 13 - Análise de variância para a variável ruído.....	117
Tabela 14 - Teste de Tukey para a variável ruído. ....	118
Tabela 15 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de ruído para as quatro marcas avaliadas.....	121
Tabela 16 - Análise de variância para a variável torque do motor.....	121
Tabela 17 - Análise de variância para a variável potência efetiva.....	122
Tabela 18 - Teste de Tukey para a variável torque. ....	122
Tabela 19 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva. ....	123
Tabela 20 - Análise de variância para a variável ruído.....	124
Tabela 21 - Teste de Tukey para a variável ruído. ....	125

Tabela 22 - Resumo da análise de variância de torque (N.m), potência efetiva (kW) e ruído (dB) obtido a partir dos ensaios dinamométricos na TDP.....	127
Tabela 23 - Análise de variância para a variável torque do motor. ....	128
Tabela 24 - Teste de Tukey para a variável torque. ....	129
Tabela 25 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor para as configurações avaliadas.....	131
Tabela 26 - Análise de variância para a variável potência efetiva. ....	132
Tabela 27 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva.....	133
Tabela 28 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da potência efetiva para as configurações avaliadas. ....	135
Tabela 29 - Análise de variância para a variável ruído. ....	136
Tabela 30 - Teste de Tukey para a variável ruído. ....	136
Tabela 31 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste do ruído para as configurações avaliadas. ....	139

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos tratores agrícolas de rodas do tipo <i>Standard</i> .....	42
Quadro 2 - Comparação das potências obtidas ao aplicar diferentes procedimentos de ensaios de motores agrícolas. ....	58
Quadro 3 - Especificações técnicas do dinamômetro móvel da marca EGGERS, modelo PT 301 MES. ....	66
Quadro 4 - Especificações técnicas do gerador de energia elétrica da marca Branco, modelo BD-8000 E.....	69
Quadro 5 - Classificação por faixas de potência bruta do motor dos tratores agrícolas de rodas comercializados no Brasil. ....	92





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGROTEC	Laboratório de Agrotecnologia
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANOVA	Análise da Variância
ASAE	<i>American Society of Agricultural Engineers</i>
CCR	Centro de Ciências Rurais
CENEA	Centro Nacional de Engenharia Agrícola
Cepea	Centro de Estudos Avançados em Economia
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Cavalo vapor
dB	Decibel
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DP	Desvio padrão
EPI	Equipamento de proteção individual
fa	Fator atmosférico
FEE	Fundação de Economia e Estatística
fm	Fator motor
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGM	<i>Inspettorato Generale della Motorizzazione</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kW	Quilowatt
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MODERFROTA	Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
N.m	Newton metro
NEMA	Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas
NR	Norma regulamentadora
NTTL	<i>National Test Tractor Laboratory</i>
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
RPM	Rotações por minuto
SAE	<i>Society for Automotive Engineers</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
TDA	Tração dianteira auxiliar ou assistida
TDP	Tomada de potência



## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Folder utilizado para divulgação do projeto.....	155
Apêndice B – Formulário utilizado durante os ensaios para caracterização e cadastro dos tratores agrícolas avaliados.....	156
Apêndice C – Relatório de ensaio do trator agrícola marca Valtra, modelo A750..	158
Apêndice D – Protocolo para a realização de ensaios dinamométricos utilizando o dinamômetro móvel marca EGGERS, modelo PT 301 MES.....	159



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Mercado brasileiro de tratores agrícolas .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Trator agrícola .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3 Classificação dos tratores agrícolas .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4 Motores de tratores agrícolas .....</b>	<b>42</b>
2.4.1 Características e funcionamento .....	44
2.4.2 Curvas características de desempenho .....	45
2.4.3 Conceito dos parâmetros de desempenho.....	46
<b>2.5 Motores sobre alimentados por turbo compressor .....</b>	<b>50</b>
<b>2.6 Ensaios de motores de tratores agrícolas .....</b>	<b>52</b>
<b>2.7 Ensaios de motores de tratores agrícolas no Brasil.....</b>	<b>53</b>
<b>2.8 Ensaios dinamométricos .....</b>	<b>54</b>
2.8.1 A importância dos dinamômetros móveis.....	55
2.8.2 Normalização para ensaios dinamométricos de motores agrícolas .....	55
2.8.3 Ensaios por meio da TDP e as perdas de potência .....	59
2.8.4 Resultados dos ensaios de motores .....	60
<b>2.9 Nível de ruído emitido pelo motor Diesel .....</b>	<b>63</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1 Bancada dinamométrica móvel.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2 Demais equipamentos utilizados nas avaliações.....</b>	<b>68</b>
3.2.1 Gerador de energia elétrica.....	68
3.2.2 Tacômetro .....	70
3.2.3 Termo-higrômetro.....	71
3.2.4 Medidor de nível de pressão sonora (decibímetro).....	71
<b>3.3 Apresentação e divulgação do trabalho de pesquisa .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4 Coleta dos dados .....</b>	<b>73</b>
3.4.1 Variáveis observadas <i>versus</i> especificadas .....	74
3.4.2 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos .....	76
3.4.3 Motores: Perkins <i>versus</i> MWM <i>International</i> .....	78
3.4.4 Motor sobre alimentado por turbo compressor.....	79

<b>3.5 Realização dos ensaios.....</b>	<b>81</b>
<b>3.6 Ensaio dinâmico conforme a norma DIN 70020 .....</b>	<b>85</b>
<b>3.7 Medição do nível de ruído conforme a norma ISO 5131.....</b>	<b>87</b>
<b>3.8 Delineamentos experimentais e análises estatísticas .....</b>	<b>88</b>
3.8.1 Variáveis observadas <i>versus</i> especificadas .....	88
3.8.2 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos.....	89
3.8.3 Motores: Perkins <i>versus</i> MWM <i>International</i> .....	89
3.8.4 Motor sobrealimentado por turbo compressor .....	90
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>4.1 Proposta de classificação para tratores agrícolas .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2 Classificação dos tratores agrícolas avaliados .....</b>	<b>92</b>
<b>4.3 Caracterização dos tratores e dos motores agrícolas avaliados .....</b>	<b>93</b>
<b>4.4 Comparações estabelecidas.....</b>	<b>98</b>
4.4.1 Variáveis observadas <i>versus</i> especificadas .....	98
4.4.2 Reserva de torque .....	106
4.4.3 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos.....	108
4.4.3.1 Torque do motor .....	109
4.4.3.2 Potência efetiva .....	113
4.4.3.3 Ruído .....	117
4.4.4 Motores: Perkins <i>versus</i> MWM <i>International</i> .....	121
4.4.4.1 Torque e potência efetiva do motor .....	121
4.4.4.2 Ruído .....	124
4.4.5 Motores sobrealimentados por turbo compressor.....	127
4.4.5.1 Torque do motor .....	128
4.4.5.2 Potência efetiva .....	132
4.4.5.3 Ruído .....	136
4.4.6 Nível de ruído emitido pelos motores agrícolas avaliados .....	139
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>153</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que grande parte do território brasileiro dispõe de condições climáticas e ambientais favoráveis às práticas agrícolas, o agronegócio, sem sombra de dúvidas, é hoje a principal locomotiva da economia nacional.

De acordo com o relatório mensal elaborado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio (insumos, produção agropecuária, agroindústria e distribuição) cresceu 0,13% em julho e 3,31% nos primeiros sete meses de 2013 (Cepea, 2013). Ainda segundo o centro de estudos, em 2012 o PIB do agronegócio correspondeu a 22,51% do PIB brasileiro e a estimativa para 2013 é aumentar essa participação para 22,8%.

Os dados da Fundação de Economia e Estatística (FEE) revelam que o PIB do Rio Grande do Sul cresceu 6,6% no acumulado de janeiro a setembro de 2013. A agropecuária cresceu 48,0%, com destaque para os aumentos de produção da soja e do milho (FEE, 2013). Em 2012 a participação do PIB do estado no PIB do Brasil foi de 6,73%.

Conforme o 12º levantamento da produção de grãos da safra 2011/12 realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil produziu 165,9 milhões de toneladas de grãos, 1,9% a mais que a safra 2010/11 (162,8 milhões de toneladas) (CONAB, 2012). Com base nos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Censo Agropecuário de 2006, os estabelecimentos da agricultura familiar representavam 84,4% (4.367.902) dos estabelecimentos brasileiros, e que essa agricultura respondia por 38% do valor total produzido pela agropecuária (IBGE, 2006).

Com o objetivo de reduzir desigualdades, melhorar o bem estar das famílias rurais e promover o acesso democrático aos recursos produtivos, a partir da década de 90, por meio da implementação de mecanismos de fomento à produtividade, o governo federal vem tentando combater a fome e gerar empregos e renda. O programa Mais Alimentos, que é uma linha de crédito do Programa Nacional de

Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), é um desses mecanismos, e evidencia o reconhecimento da importância da agricultura familiar para o país.

Dentre os fatores responsáveis pela elevação da produção agrícola nacional durante as últimas décadas, o uso de máquinas agrícolas merece destaque. A mecanização tornou possível a expansão da agricultura para grandes áreas, permitiu o cultivo de áreas maiores para cada agricultor (aumento da capacidade de trabalho), empregando menor número de trabalhadores, que foram gradativamente absorvidos por outros setores da economia.

A substituição das atividades agrícolas com tração animal pelo uso de tratores agrícolas, nas últimas quatro décadas, levou à obtenção de aumentos na produtividade das culturas por meio da melhoria na eficiência operacional e aplicação mais adequada dos insumos, principalmente em pequenas propriedades rurais e em regiões sem áreas para expansão.

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2013), o mercado interno de máquinas e implementos agrícolas, no ano de 2012, absorveu 52.819 tratores de rodas e 6.278 colhedoras, sendo que no mesmo ano foram produzidas 64.456 e 7.485 unidades de tratores e colhedoras, respectivamente. Atualmente, estão disponíveis no mercado brasileiro, 195 diferentes modelos de tratores agrícolas de rodas, utilizados nas mais variadas atividades agropecuárias em todo o país.

Como elemento fundamental na elevação dos padrões produtivos, o trator agrícola passou a ter a sua utilização amplamente difundida, o que gerou um aumento de produção (MÁRQUEZ, 1990). Juntamente com o aumento de produção dessas máquinas surgiram dúvidas relacionadas à precisão dos dados técnicos fornecidos pelos fabricantes acerca de seus produtos. Neste sentido, se configura uma reconhecida insegurança nesta relação de consumo, pois com a interrupção e a temporária inexistência de ensaios oficiais de motores no Brasil, o comprador não recebe do vendedor a certeza das características do produto adquirido.

O desempenho do motor Diesel de um trator agrícola pode ser conhecido por meio de ensaios dinamométricos, que possibilitam o rápido diagnóstico do funcionamento, bem como a identificação das características básicas dos motores que equipam os espécimes avaliados. Assim, tais ensaios abrem a possibilidade de verificação de uma série de componentes de um motor agrícola (bomba injetora, bicos injetores, filtros de ar e de combustível, entre outros), permitindo a correção de



eventuais falhas e a prevenção de maiores problemas, graças à correta manutenção desses componentes. Nesse contexto, a realização de ensaios de motores torna-se uma importante ferramenta na confirmação da veracidade dos dados fornecidos pelos fabricantes ao consumidor final.

Por meio da realização de ensaios dinamométricos de motores de tratores agrícolas, pode-se confirmar os dados de torque e potência especificados pelos principais fabricantes de tratores agrícolas presentes no cenário nacional.

Considerando que os tratores agrícolas constituem hoje o alicerce da agricultura moderna, a necessidade de se conhecer a real situação do desempenho dos seus motores e a utilização da imagem do trator estar bastante associada à potência bruta do motor que o equipa, este trabalho tem por objetivo principal comparar os valores de torque e potência efetiva do motor de tratores agrícolas novos, a partir de ensaios em bancada dinamométrica móvel, com as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes. Como objetivos específicos buscou-se:

i. Comparar marcas e modelos de tratores agrícolas novos comercializados por meio do programa Mais Alimentos, no que diz respeito aos valores de torque, potência efetiva e nível de ruído emitido pelo motor.

ii Comparar motores de tratores agrícolas de mesma potência bruta, quanto aos valores de torque, potência efetiva e nível de ruído emitido.

iii. Avaliar a adição de turbo compressor em um motor agrícola, quanto aos valores de torque, potência efetiva e nível de ruído emitido.

iv. Avaliar o nível de ruído emitido pelos motores agrícolas durante a realização do ensaio dinamométrico e comparar com os limites máximos de tolerância estabelecidos pela Norma Regulamentadora NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego.

Atualmente, em nosso país a situação dos ensaios, em laboratórios, de motores agrícolas parece distante de uma realidade mundial. O sistema carece de infraestrutura adequada e de equipamentos que realizem esses trabalhos de forma satisfatória. Soma-se a isso a falta de demanda constante de trabalho na área de ensaios, devido à sazonalidade na produção e vendas internas de máquinas.

Sendo assim, a realização dessa pesquisa foi de grande valia e pertinência, visto que o Brasil é uns dos principais países fabricantes de tratores agrícolas do mundo, e não possui uma entidade governamental que ensaia e homologa os espécimes produzidos.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Mercado brasileiro de tratores agrícolas**

Dos anos 1970 até os dias atuais o setor agrícola brasileiro tem apresentado significativo aumento de produção, o que em determinados períodos é resultado do aumento na área cultivada e em outros da maior produtividade agrícola, ou ambos (FERREIRA FILHO & FELIPE, 2007).

Esse desenvolvimento não diz respeito apenas ao emprego mais eficiente de defensivos, insumos e sementes nas lavouras, mas também ao uso mais intenso da mecanização agrícola, devido à extensão das áreas agrícolas, que são o principal fator para que o país alcance esses patamares produtivos, que contribuíram para a melhor estruturação e consolidação do mercado de máquinas agrícolas, com equipamentos cada vez mais modernos e eficientes.

Analisando os dados fornecidos pela ANFAVEA (2006), observa-se que a indústria brasileira de tratores crescia modestamente até 1970, quando a produção salta de 14,3 mil para 22,2 mil unidades. A produção apresentou-se crescente até o ano de 1976 quando atinge a marca de 64,2 mil tratores agrícolas produzidos, recorde superado 32 anos mais tarde, onde foram produzidas 71.763 unidades em 2010 (Figura 1).

A partir da década de 1980, o cenário nacional passou a apresentar-se em forte queda no que diz respeito à produção de tratores agrícolas, devido a instabilidades geradas por diversas crises econômicas de âmbito nacional e mundial, modificações cambiais e menores incentivos à compra.

Para Castilhos (2008), a partir dos anos 80, a indústria de máquinas e implementos agrícolas iniciou um processo marcado por fusões e aquisições. Grandes grupos internacionais iniciaram a compra de empresas nacionais ou ainda de parte do capital de empresas nacionais. O segmento de tratores é o exemplo mais claro da tendência de concentração industrial.

No início dos anos 90, o Brasil passou por uma reestruturação produtiva que expôs a indústria brasileira à concorrência internacional, forçando-a a buscar ganhos

em produtividade. Esses ganhos foram obtidos por meio da modernização de plantas industriais, da redução do pessoal empregado, da terceirização, da implantação de inovações organizacionais e da aquisição ou fusão de empresas (MIRANDA, 2001). Segundo Ribas et al. (2010), no ano de 2010 o mercado brasileiro de tratores agrícolas de rodas dispunha de cerca de 169 diferentes modelos fabricados por 12 empresas nacionais.

Atualmente, a produção de tratores é realizada por 17 fabricantes, sendo que todos eles possuem em sua linha de fabricação um tipo de trator (dois eixos), enquanto que apenas quatro fabricantes (23,5%) produzem dois tipos (tratores de um e dois eixos). Este arranjo baseia-se nos critérios adotados por Schlosser (1998), que classifica os tratores agrícolas de acordo com o número de eixos, podendo ser de apenas um eixo (tratores de rabiças), tratores com dois eixos (micro tratores, tratores utilitários, tratores 4x2, os 4x2 com tração dianteira auxiliar ou assistida (TDA) e tratores com tração integral 4x4) e ainda, os tratores de esteiras, podendo ser de esteiras metálicas ou de borracha.

Na figura 1 observa-se o comportamento do mercado nacional, representado pela produção, vendas internas de tratores agrícolas nacionais e importados e exportações no período que se estende de 1960 até o ano de 2012.

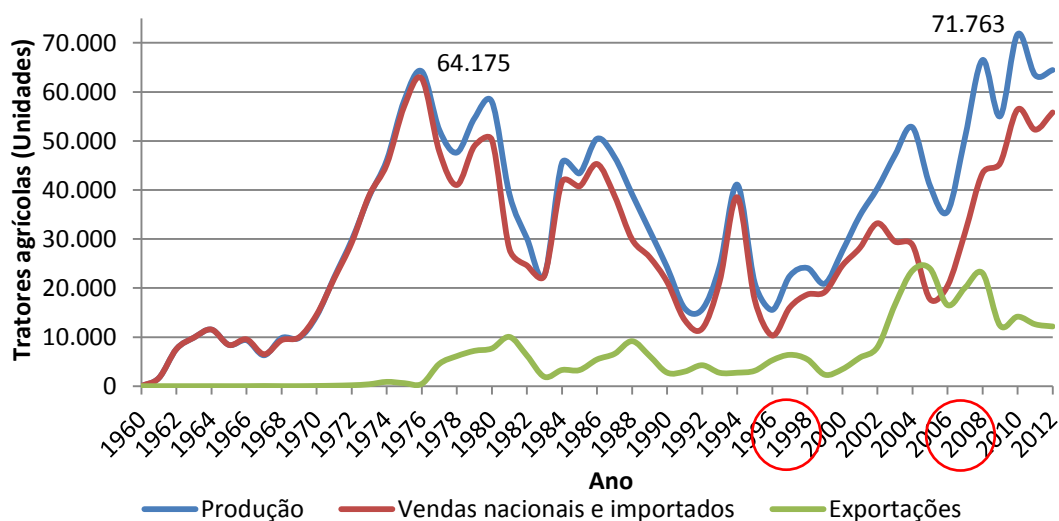


Figura 1 - Comportamento do mercado nacional de tratores agrícolas durante o período de 1960 até 2012.

Fonte: Adaptado de Anuário estatístico, ANFAVEA (2013).

Este acentuado crescimento na produção e comercialização de tratores agrícolas se deve, principalmente, a criação e implantação pelo Governo Federal de dois programas especiais de crédito agrícola, voltados para o financiamento da atividade rural. Em 2000 o programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (*ipsis litteris*) (MODERFROTA), e no ano de 2008 o programa Mais Alimentos foram criados, com o objetivo principal de incrementar a produtividade da agricultura, por meio do acesso facilitado ao crédito para a aquisição de tratores agrícolas, implementos e colhedoras automotrizes de grãos aos produtores rurais e suas cooperativas, por intermédio dos agentes financeiros (BRASIL, 2013).

Para Ferreira Filho e Felipe (2007), a retomada no consumo de máquinas agrícolas é anterior ao lançamento do programa MODERFROTA, o que sugere que além do programa, outras variáveis estão associadas ao fenômeno. Ainda segundo os autores, a elevação nas vendas de máquinas acontece a partir de 1996, e não pode ser atribuída exclusivamente ao referido programa, que foi introduzido no ano 2000.

Apesar de haver alguns desacordos entre os economistas, é fato que o programa aludido elevou o consumo de tratores agrícolas de rodas e colhedoras, o que possibilitou a conversão de pastagens em lavouras (expansão da área cultivada).

O programa Mais Alimentos foi lançado no ano de 2008 pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) do Governo Federal. Segundo Brasil (2013), este programa é uma ação de estruturação voltada ao agricultor familiar, que permite o investimento em modernização e aquisição de máquinas e de novos equipamentos agrícolas, correção e recuperação de solos, resfriadores de leite, melhoria genética, irrigação, implantação de pomares e estufas e armazenagem. Atualmente o programa conta com 377 empresas cadastradas.

Conforme dados do Censo Agropecuário Brasileiro 2006, existiam 820.673 tratores agrícolas em uso no Brasil, distribuídos em aproximadamente 530 mil estabelecimentos rurais. Desse total de tratores, 70% (570.647 unidades) possuem menos de 100 cv de potência no motor e estão localizados em 82% dos estabelecimentos (IBGE, 2006). Ainda segundo esse levantamento, a maioria dessas máquinas está concentrada na região Sul do país (Figura 2).

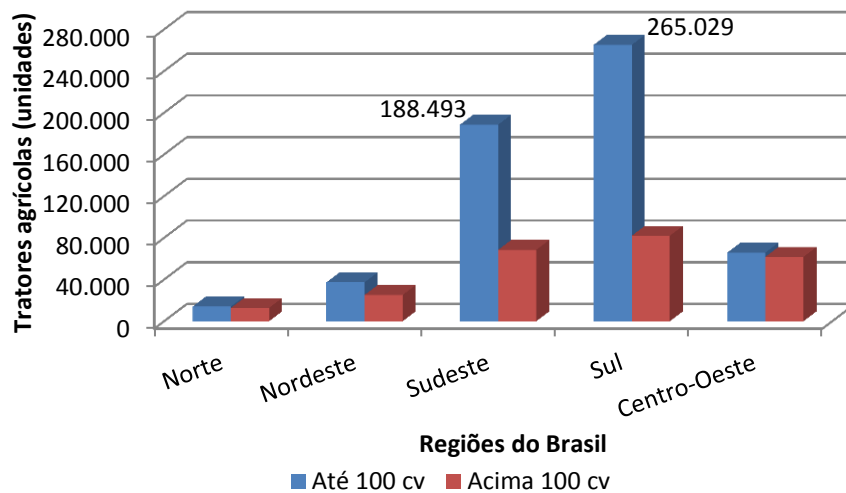


Figura 2 - Concentração de tratores agrícolas nas regiões brasileiras no ano de 2006.

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário 2006, IBGE (2006).

Corroborando com o exposto acima, de acordo com dados da ANFAVEA, no Brasil a faixa de potência mais comercializada pelos fabricantes de máquinas agrícolas situa-se entre 36,8 e 72,8 kW de potência (50 a 99 cv), como se pode observar nas figuras 3 e 4.

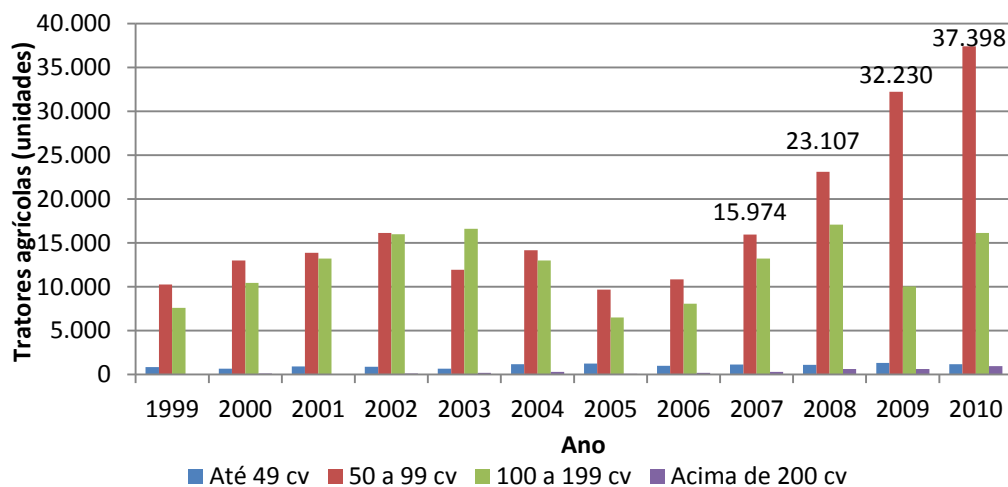


Figura 3 - Vendas internas de tratores agrícolas de rodas no Brasil por faixa de potência, durante os anos de 1999 a 2010.

Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2010a, 2010b e 2011).

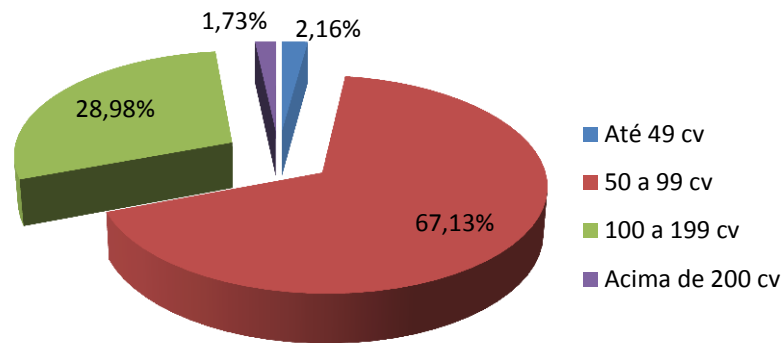


Figura 4 - Representatividade das vendas internas de tratores agrícolas de rodas no Brasil por faixa de potência, referente ao ano de 2010.

Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2011).

Esse acentuado aumento nas vendas internas de tratores agrícolas com potência entre 36,8 e 72,8 kW nos últimos três anos deve-se, principalmente, ao fornecimento de crédito, especialmente para agricultores familiares, por meio de programas governamentais, como o programa Mais Alimentos. Segundo Russini (2012), os tratores agrícolas que se encontram nessa faixa de potência ocupam o posto de número um em comercialização, pois preenchem os requisitos técnicos e operacionais de grande parte dos campos de produção brasileiros.

Destacaram-se como líderes de vendas no ano de 2010, os modelos de tratores MF 4275, A 750, TL 75E e 5075E, pertencentes a quatro marcas já consagradas no mercado nacional, Massey Ferguson, Valtra, New Holland e John Deere, respectivamente, que juntos representaram 26,61% do total de tratores comercializados (ANFAVEA, 2011).

Essa fração só não foi maior porque não se contabilizaram os modelos de tratores que não são mais fabricados atualmente e que eram comercializados por meio do programa Mais Alimentos visto que, neste mesmo ano foram lançados novos modelos de duas empresas. A New Holland foi a única marca que manteve o modelo TL 75E desde o surgimento do referido programa até os dias atuais. Anteriormente ao lançamento dos novos modelos as empresas Massey Ferguson,

Valtra e John Deere comercializavam os tratores modelos MF 275, 785 e 5603, respectivamente.

## 2.2 Trator agrícola

Buscando-se obter um veículo capaz de realizar trabalho de tração, em substituição aos animais de trabalho até então usados, aproximadamente, em 1850, popularizou-se a combinação de duas palavras do idioma inglês, que deram origem a esta inovação: motor de tração (*TRAction moTOR*) ou trator (SIMONE et al., 2006).

O trator agrícola constitui hoje o alicerce da agricultura moderna, pois sem ele o sistema de produção não atenderia os atuais patamares de produção. Segundo Bilski (2013), o trator agrícola de rodas é comumente, o veículo mais utilizado nas propriedades rurais (há cerca de mais de 29 milhões de tratores no mundo), e também, uma das fontes mais importantes de ruído na agricultura.

Mialhe (1996) conceitua o trator agrícola como sendo uma máquina autopropelida provida de meios que, além de darem apoio estável sobre a superfície capacitam-na a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar máquinas e implementos agrícolas.

Segundo a *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 1995), o trator agrícola é uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada para proporcionar potência aos implementos agrícolas, logo, denota-se primordial importância ao uso do trator agrícola como formador principal dos moldes da agricultura moderna servindo como uma versátil fonte de potência no intuito de proporcionar maior dinâmica aos implementos agrícolas. Ainda segundo a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 2007), os tratores agrícolas são veículos autopropelidos de rodas, com pelo menos dois eixos ou com esteiras, desenhados principalmente para cumprir o propósito de tracionar reboques, implementos, ferramentas e máquinas agrícolas e ainda, quando requerido, proporcionar a potência necessária para que estes trabalhem parados ou em movimento.

Segundo Márquez (2012), a evolução dos tratores agrícolas é notável desde seu advento, sendo que as máquinas atualmente desenvolvidas se destacam não só



por realizarem funções básicas de tração e transmissão de potência, mas também por serem eficientes e com custos cada vez mais otimizados, sem esquecer da relação que a mesma mantém com o indivíduo que a maneja.

### **2.3 Classificação dos tratores agrícolas**

Os tratores agrícolas podem ser classificados considerando os mais variados critérios (quanto ao tipo de rodado, ao tipo de tração, ao tipo de estrutura de construção, a aplicação, a bitola, a potência do motor, sua massa total, entre outros).

Silveira (1987), classifica os tratores agrícolas de duas formas. Primeiro com relação ao seu sistema de locomoção, podendo ser de dois tipos: os de pneus (ou rodas) e os tratores de esteiras. A segunda forma tem como base comparativa o modo de tração, onde os tratores de rodas podem se apresentar com tração em duas rodas, TDA e tração integral nas quatro rodas. Ainda segundo o mesmo autor, além dos tratores propriamente ditos, existem também os motocultores, também chamados de cultivadores motorizados ou tratores de rabiças, e os microtratores, com funções específicas. Schlosser (1998) adota como critério para a classificação dos tratores agrícolas de rodas o número de eixos.

Já a ANFAVEA (2006), subdivide os tratores agrícolas em diferentes faixas de potência bruta do motor: com até 36,0 kW de potência (49,0 cv), de 36,8 a 72,8 kW de potência (50,0 a 99,0 cv), e os tratores acima de 73,6 kW (100,0 cv) de potência.

Márquez (2012), utiliza uma classificação semelhante a proposta pela ANFAVEA (2006), a qual também serviu como base para a criação de uma nova classificação para os tratores agrícolas comercializados no Brasil. Essa classificação leva em consideração além da potência disponível no motor, o número de cilindros, o volume interno e a massa do trator, dividindo-os em seis classes, conforme pode ser visualizado no quadro 1.

<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Potência (cv)</b>	<b>Descrição</b>
I	Muito pequeno	≤ 50	Volume interno < 3,5 litros
II	Pequeno	50,1 – 79,9	3, 4 e 5 cilindros e volume interno < 3,5 litros
III	Médio	80 – 109,9	3 e 4 cilindros e volume interno > 3,5 litros
IV	Grande	110 – 159,9	4, 5 e 6 cilindros
V	Muito grande	160 – 199,9	6 cilindros
VI	Extra grande	≥ 200	> 6 cilindros e massa sem lastro > 8000 kg

Quadro 1 - Classificação dos tratores agrícolas de rodas do tipo *Standard*.

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

## 2.4 Motores de tratores agrícolas

O motor é a parte mais complexa de um trator agrícola, e por isso requer um estudo mais detalhado e atenções especiais.

Define-se motor endotérmico (de combustão interna) como sendo uma máquina que transforma a energia química do combustível em energia mecânica, isto é, em trabalho útil. Estes motores dividem-se em dois tipos: os motores de ciclo Otto e os de ciclo Diesel.

O motor de ignição por compressão fundamenta-se nos trabalhos do engenheiro alemão Rudolphe Diesel, que construiu seus primeiros motores, no ano de 1892. Este motor caracteriza-se pela realização da combustão à pressão constante, segundo um ciclo que assumiu o nome de seu inventor (GIACOSA, 1980). Este possui, ainda, um diferencial em relação ao motor de ciclo Otto que se refere à taxa de compressão, sendo maior nos motores a diesel. A ideia inicial de Rudolphe era aproveitar combustíveis disponíveis na região, como óleos de origem

vegetal (amendoim), mineral ou de origem animal. Diesel ainda idealizou em 1892 um motor com semelhanças ao ciclo Otto, cujo combustível era o carvão pulverizado, e com altas taxas de compressão (OBERT, 1971).

De acordo com Ortiz-Cañavate (2012), parece provável que o motor alternativo Diesel seja, por muito tempo, o motor utilizado em tratores. Ainda segundo o autor, os novos materiais cerâmicos com elevada resistência ao calor, ao desgaste e a corrosão podem ser utilizados na fabricação desses motores futuramente, o que permitirá aumentar o rendimento térmico dos motores Diesel, que atualmente pode chegar a valores de até 40%. A figura 5 apresenta os principais componentes de um motor endotérmico alternativo.

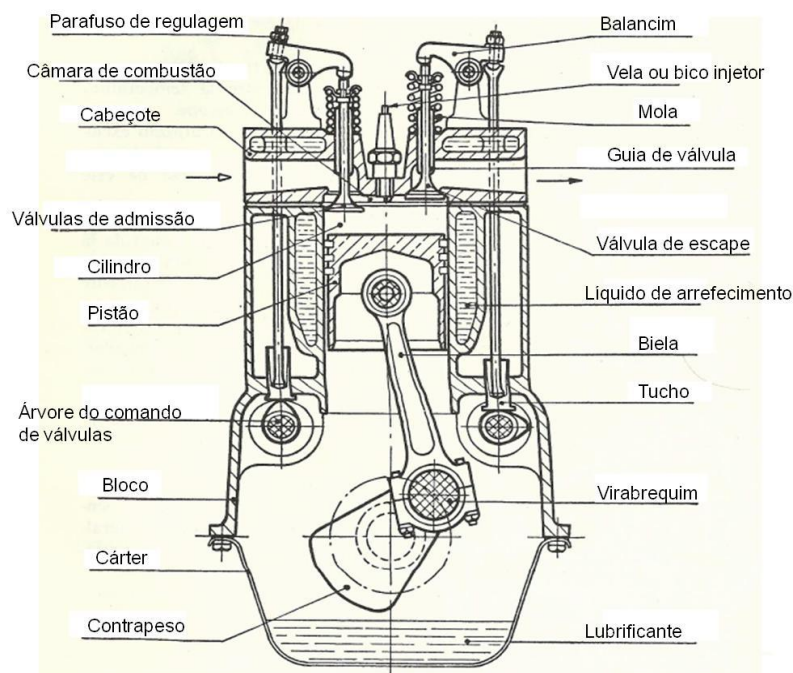


Figura 5 - Principais componentes de um motor endotérmico alternativo.

Fonte: Adaptado de Giacosa (1980).

Conforme Mialhe (1996), o motor de um trator agrícola é constituído por um conjunto de órgãos com a função de transformar a energia interna do combustível em energia mecânica, sendo que o desempenho dessas máquinas está associado a este processo de transformação de energia.

### 2.4.1 Características e funcionamento

Os motores de ciclo Diesel diferenciam-se dos demais, pois apenas o ar é admitido dentro da câmara do cilindro e a taxa de compressão é mais elevada em comparação aos motores de ciclo Otto. Estas proporções variam de 15:1 a 21:1 nos motores que utilizam óleo diesel como combustível, enquanto que nos motores Otto esta proporção fica em torno de 6:1 a 11:1 (MIALHE, 1980).

Conforme Stone (1999), os motores de ignição por compressão apresentam uma eficiência térmica superior quando comparados aos motores de ignição por faísca, pois apresentam taxas de compressão mais elevadas e porque durante a fase inicial da compressão apenas o ar se encontra no interior do cilindro.

A dosagem do combustível realizada pelo sistema injetor deve ser a mais fraca possível, a fim de se alcançar uma combustão completa, além disso, os motores de ciclo Diesel são projetados para trabalhar a baixas rotações, acarretando em menores perdas por atrito. O motor de um trator agrícola funciona durante mais de 50% do tempo de uso entre 40 e 60% de sua potência máxima. Portanto, para esta carga média deve-se buscar o mínimo consumo específico de combustível possível (ORTIZ-CAÑAVATE, 2012).

Durante a fase de compressão o ar que foi admitido alcança valores de pressão entre 30 e 55 bar para motores aspirados e entre 80 a 110 bar para motores sobrealimentados. Nessas condições a temperatura se eleva rapidamente para valores entre 700 e 900 °C, provocando a autoignição (BOSCH, 2005). A combustão do motor Diesel deve acontecer em alguns milésimos de segundos, enquanto o combustível se mistura com o ar, sofre a autoignição e a queima completa (LEONTSINIS, 1988). Ainda segundo o autor, uma boa vaporização do combustível associado a boas características de autoignição são muito importantes, principalmente ao se dar a partida no motor, visto que a temperatura do cilindro ainda é baixa.

A pressão sobre a cabeça dos pistões origina uma força, devido à combustão, que é transmitida por meio da biela ao volante do virabrequim ou árvore de manivelas, fazendo com que este produza um esforço de giro, de rotação ou de torção, vencendo uma resistência externa.

#### 2.4.2 Curvas características de desempenho

As características e o desempenho de um motor de ciclo Diesel podem ser obtidos por meio de ensaios dinamométricos, obtendo-se desta forma valores de desempenho, geralmente expressos na forma de gráficos e tabelas. Normalmente estes gráficos possuem três curvas de desempenho fundamentais, que revelam as características e o desempenho do motor submetido ao ensaio, que são: curva de torque, de potência e de consumo específico de combustível. Mais à frente, ao se tratar dos resultados dos ensaios de motores, essas curvas serão abordadas em maior profundidade.

Nas avaliações de desempenho podem-se utilizar freios dinamométricos, normalmente elétricos, conforme relatam Alvarez e Huet (2008) durante a execução de seus trabalhos de avaliação de tratores em projetos de extensão na França.

Segundo Obert (1971), a medição de potência tem importância fundamental na análise do desempenho de um motor e, para determiná-la, utilizam-se freios de diferente natureza, que são reconhecidos como “dinamômetros”.

Recentemente, devido ao surgimento de motores turboalimentados, com efeitos de ressonância nos coletores de admissão de ar e com injeção eletrônica de combustível, se permite obter curvas características de funcionamento muito distintas das que proporcionavam motores antigos ou “clássicos” (com aspiração natural e presença de regulador mecânico de combustível). Este novo “desenho” permitiu se falar em motores com “potência constante”, “reserva de potência”, potência “extra”, ou “soma” de potência. Segundo Márquez (2012), devido a estas terminologias comerciais utilizadas pelos fabricantes de máquinas agrícolas, nunca se sabe onde termina o aspecto publicitário e começa a inovação tecnológica.

Ao analisar a figura 6, percebem-se as diferenças entre as curvas de torque e potência de um motor dito clássico de um com “potência extra”.

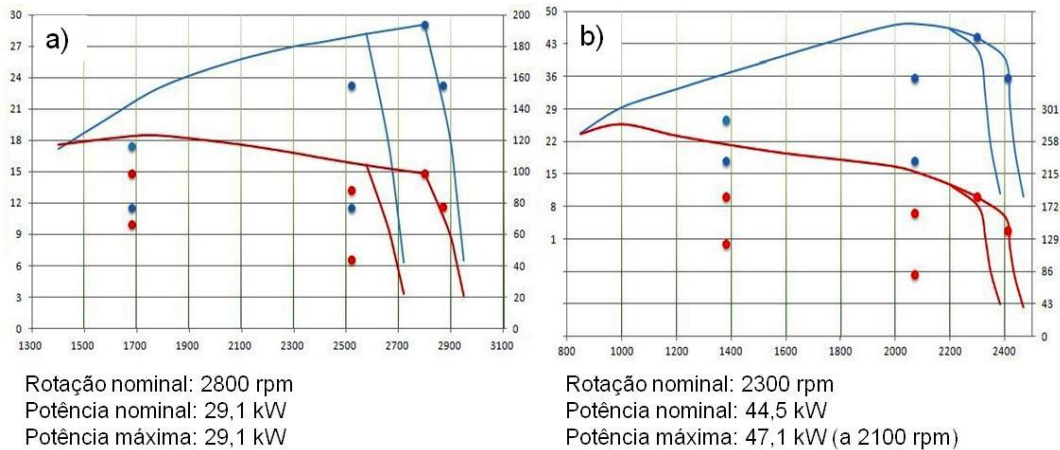


Figura 6 - Curvas características de dois motores de tratores agrícolas: curvas características de um motor “clássico” (a) e curvas características de um motor com “potência extra” (b).

Fonte: Relatórios de ensaios oficiais de motores agrícolas.

A principal diferença diz respeito à rotação do motor na qual se obtém a potência máxima. Para motores antigos (clássicos) essa potência é obtida na rotação nominal do motor, isto é, rotação de potência máxima (Figura 6a), já os motores modernos, com “potência extra”, a potência máxima é atingida a uma rotação menor que a nominal (Figura 6b).

### 2.4.3 Conceito dos parâmetros de desempenho

Os conceitos básicos estão amplamente apresentados na literatura clássica sobre motores de combustão interna como Obert (1966), Taylor (1988) e Heywood (1988).

Define-se potência como sendo a capacidade que tem um motor para realizar um trabalho na unidade de tempo (MÁRQUEZ, 2012). A expressão matemática que a define toma a forma da equação matemática 1.

$$Potência = \frac{força \times distância}{tempo} \quad (1)$$

Ao falar de potência, também se deve referir às unidades a que se mede. O cavalo de vapor (cv) serviu para comparar a potência das primeiras máquinas motoras com a de animais de tração, os quais foram substituídos pelas primeiras. De acordo com Márquez (2012), um trator de 50 cv poderia desenvolver 50 vezes a potência de um cavalo de tração, significa que, o produto da força de tração de um trator pela sua velocidade de deslocamento equivale a 50 vezes a do cavalo de tração, que se tem como referência padrão.

Com a criação do Sistema Internacional de Unidades (SI), substituiu-se esta unidade de medida por outra de aceitação universal, o Watt (W). Esta nova unidade é a mesma usada para expressar a potência das máquinas elétricas e equivale a 1,36 cv. Dessa forma a potência de um trator de 75 cv se expressará da assim:  $75/1,36 = 55,1$  kW.

Mialhe (1996), afirma que o balanço das transformações de energia que ocorrem em um motor agrícola, define uma série de “potências”: potência teórica ou motora, potência indicada, potência efetiva ou potência ao freio, potência de atrito, potência observada e potência reduzida.

- Potência teórica ou motora: Potência que seria obtida se fosse possível a transformação total da energia resultante da combustão, em energia mecânica.
- Potência indicada: Potência desenvolvida no cilindro do motor, como resultado da ação da pressão média dos gases da combustão sobre a cabeça do êmbolo.
- Potência efetiva ou potência ao freio: Potência desenvolvida no volante do motor e medida por meio dos dinamômetros de absorção ou freios dinamométricos. É a potência que efetivamente está disponível no motor para atender as exigências de sua aplicação. Pode ser facilmente calculada a partir do valor de torque em sua correspondente rotação do motor.
- Potência de atrito: Potência consumida pelo próprio motor para vencer o atrito nos mancais, êmbolos e demais partes móveis, bem como para realizar a aspiração do ar (motores Diesel) ou da mistura ar e combustível (motores Otto) e a expulsão dos gases de escape.

- Potência observada: Potência que foi medida na bancada dinamométrica, sob determinadas condições especificadas por um método de ensaio normalizado.
- Potência reduzida: Potência observada reduzida para as condições atmosféricas padrão.

De acordo com Obert (1971), a determinação experimental da potência de atrito é difícil, pois não há como medi-la diretamente, além de variar bastante com as condições de funcionamento do motor.

Potência corrigida é diferente de potência reduzida. A primeira refere-se às correções feitas devido à calibração de instrumentos de medição, já a segunda aos resultados reais de desempenho do motor que foram obtidos por cálculos efetuados a partir da potência observada, os quais levam em conta as condições atmosféricas de referência (fatores de correção multiplicativos).

A partir dos ensaios dinamométricos, onde serão obtidos valores de desempenho de um determinado motor agrícola, faz-se necessário saber, especialmente, a potência efetiva ou potência ao freio. Márquez (2012), afirma que esses ensaios podem ser feitos sob duas condições diferentes, com todos os elementos imprescindíveis ao seu funcionamento, ou sem alguns deles. No primeiro caso se obtém a potência líquida, enquanto que no segundo se define a potência obtida como bruta.

Segundo Mialhe (1996), a potência efetiva ( $H_e$ ) pode ser calculada com o torque correspondente a velocidade angular pela equação matemática 2.

$$H_e = T \times N \times \frac{2\pi}{60 \times 1000} \quad (2)$$

Em que:

$H_e$  – Potência efetiva (kW);

T – Torque (N.m);

N – Velocidade angular do motor (rpm).



A norma NBR ISO 5484 (1985) ou NBR ISO 1585 (1996) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define que a “potência efetiva líquida” é a potência desenvolvida pelo motor com todos os equipamentos e acessórios necessários ao funcionamento autônomo na sua aplicação particular e que constitui estes, se existirem: bomba de óleo lubrificante, bomba de líquido de arrefecimento do motor, equipamento de controle de emissões, gerador (operando em vazio), coletores de admissão e escapamento, ventoinha do motor (arrefecimento a ar), filtro de ar, silenciadores de admissão e escapamento, freio motor de escapamento, filtro de combustível, pós-arrefecedor do ar de admissão e ventoinha do radiador (MACHADO, 2008).

A pressão média no cilindro, juntamente com o diâmetro e o número de cilindros são os fatores que determinam a resistência máxima que o motor pode vencer. Esta característica básica dos motores, que lhes permite exercer uma força de rotação no volante do virabrequim, adaptando-se as variações das forças externas, se denomina torque (MÁRQUEZ, 2012).

O torque é mensurado diretamente por meio de freios dinamométricos. O torque, que é a resistência ao movimento de um eixo, pode ser avaliado como o produto da força exercida pela distância (desde ao eixo até a força aplicada). O SI recomenda utilizar para medir a força uma unidade conhecida como Newton (N), medindo-se dessa forma o torque em Newtons-metro (Nm), porém também se pode expressar a força em quilograma (kg) e a distância em metros (m).

Além desses dois parâmetros principais, define-se um terceiro atributo de avaliação do desempenho de um motor, medido na sua faixa de utilização para condição de plena carga. A denominada faixa de utilização do motor é uma região delimitada pelas rotações de torque máximo e de potência máxima. Se esses valores ocorrerem a 1400 e 2200 rpm, por exemplo, a faixa de utilização desse motor é de 800 rpm.

A reserva de torque é uma característica particular dos motores que se utilizam em tratores agrícolas, sendo considerada elevada. Essa reserva define a versatilidade do motor, isto é, sua capacidade de resposta em aumentar o torque à medida que ocorre uma diminuição de sua rotação. Esta diminuição de rotação é momentânea e deve-se a uma sobrecarga imposta ao trator. Quanto maior for a reserva de torque, melhor será a capacidade de adequação do motor ao seu uso nas mais diversas operações agrícolas.

Segundo Ortiz-Cañavate (2012), uma das principais características dos motores dos tratores agrícolas é a sua elevada reserva de torque, que permite desenvolver potência constante em uma ampla faixa de velocidades de trabalho possibilitando que, com incrementos de carga a potência não varie, apesar das rotações do motor diminuir.

Assim, por meio da equação matemática 3 estabelecida por Mialhe (1996), pode-se determinar a reserva de torque do motor.

$$\Delta M = \frac{M_m - M_n}{M_n} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$\Delta M$  – Reserva de torque (%);

$M_m$  – Torque máximo (Nm);

$M_n$  – Torque nominal (Nm).

Mialhe (1996), afirma que a reserva de torque mínima de um trator agrícola equipado com um motor com injeção mecânica de combustível deve ser de 10 a 15%. Já Márquez (2005), estabelece quatro categorias, considerando um motor com injeção eletrônica: baixa reserva de torque considerando neste grupo os motores cuja reserva de torque situa-se entre 10 e 15%, média para valores entre 15 e 25%, alta de 25 a 35% e muito alta quando supera os 35%. Ainda segundo o mesmo autor, em muitos motores com sistema de injeção eletrônica de combustível consegue-se superar os 35% de reserva de torque e, em geral, um trator multiuso necessita que essa reserva seja superior a 20%.

## 2.5 Motores sobre alimentados por turbo compressor

A sobre alimentação permite introduzir nos cilindros uma massa de ar superior a que se consegue com aspiração natural (Márquez, 2012). Ainda segundo

o autor, é possível obter maior potência com a mesma cilindrada, assim como compensar as perdas que se produzem quando os motores têm que trabalhar com baixa pressão atmosférica.

O turbo compressor é instalado sobre as conduções de admissão de ar e de saída dos gases de escape. Segundo Simone et al. (2006), este componente é formado por uma turbina radial-centrípeta que está conectada por meio de uma árvore a outra turbina que funciona como compressor centrífugo. A figura 7 ilustra o funcionamento do fluxo de gases e ar no turbo compressor.

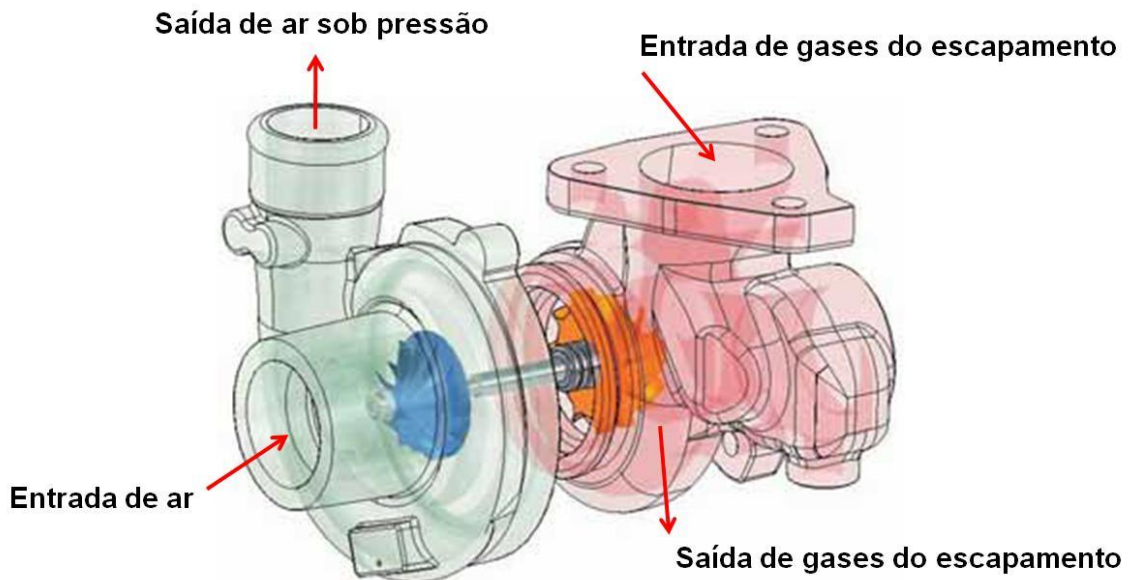


Figura 7 - Esquema de funcionamento do fluxo de gases e ar no turbo compressor.

Fonte: Adaptado de Manual Técnico da Master Power (2013).

Reis et al. (1999) descrevem o funcionamento de um turbo compressor: Os gases provenientes do escapamento do motor, que ainda estão em expansão e, portanto carregam uma parcela de energia não aproveitada no interior do cilindro acionam uma turbina a qual se encontra unida a um compressor, que é responsável por aspirar o ar e conduzi-lo até o cilindro numa quantidade maior do que aquela que seria normalmente admitida. Após a passagem pela turbina os gases são conduzidos ao escapamento do motor.

De acordo com Márquez (2012), o compressor é formado por um disco provido de aletas curvadas que aspira o ar axialmente e o impulsiona tangencialmente, transformando velocidade em sobre pressão, com uma faixa de incremento de 0,5 a 1,5 bar. Ainda segundo o autor, em um motor sobre alimentado se pode conseguir uma pressão de admissão de pouco mais de 1,6 bar, o que, em termos de potência, significa um incremento de 15% sobre a de um motor com aspiração natural.

## **2.6 Ensaio de motores de tratores agrícolas**

Um dos maiores acervos de textos normativos e de dados de ensaio engloba a temática dos tratores agrícolas (MIALHE, 1996). Sobral (2010), afirma que, sob uma realidade distinta em relação a décadas passadas, um dos principais interesses dos consumidores se refere à aquisição de máquinas adequadamente ajustadas à sua realidade, para que o mesmo tenha a plena certeza das especificações técnicas destes tratores, que serão a base do dimensionamento de boa parte das atividades de mecanização nas propriedades rurais.

De acordo com Mialhe (1974), os ensaios de tratores agrícolas feitos sob condições padronizadas internacionalmente tem por objetivos:

- Levantar informações e dados técnicos sobre o trator como fonte de potência para trabalhos agrícolas, visando obter características verdadeiras, livres de interferência comercial ou de erros de estimativa de projeto.
- Fornecer, ao usuário, dados que permitam a adoção de critérios racionais de seleção de tratores, por meio de estudo e interpretação das informações contidas nos relatórios oficiais.
- Atuar como monitorador de condições mínimas de funcionamento e durabilidade dos produtos lançados no mercado, principalmente quando articulados com programas de homologação ou de certificação.
- Fornecer aos fabricantes informações que permitam aprimorar seus produtos, uma vez que as fábricas de tratores nem sempre tem condições de instalar e manter um centro de ensaios próprio.

Corroborando com estes objetivos Srivastava et al. (1993), relatam que os ensaios realizados na TDP e na barra de tração (BT) dos tratores agrícolas podem ser usados na comparação de desempenho de vários modelos de tratores. Quando estes ensaios são realizados por agências independentes das fábricas, resultam em uma competição entre os fabricantes, que tende a promover o melhoramento do projeto do trator.

Segundo Sharkey, et al. (2000), vários fatores podem ser avaliados ao se considerar o funcionamento de um motor agrícola. Além dos quesitos ligados ao desempenho do motor (potência, torque e consumo de combustível) podem ser avaliados parâmetros como consumo de óleo lubrificante, nível de vibração e ruídos e concentração das emissões oriundas do processo de combustão interna realizado por esses motores (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e Material Particulado).

Em momentos anteriores, os consumidores baseavam-se apenas nas informações contidas no manual de instruções das máquinas, o que lhes conferiam uma capacidade limitada de análise do equipamento, sem uma maior certeza da procedência dessas informações e de como utilizá-las corretamente (ELKAHAÏR, 1990). Contudo, devido à tecnificação do meio rural estar associada à preocupação com os custos de produção os produtores rurais brasileiros, lentamente, vem adotando posturas similares às de muitos produtores norte americanos e europeus. Essa postura remete a um cenário onde a indústria se responsabiliza pela comercialização de produtos que tenham sido submetidos a avaliações prévias de desempenho, graças a uma demanda criada pelos próprios consumidores finais.

## **2.7 Ensaio de motores de tratores agrícolas no Brasil**

Segundo Mialhe (1996), o primeiro ensaio de trator agrícola realizado no Brasil foi executado na então Secção de Mecânica Agrícola, da ex Divisão de Engenharia Rural do Instituto Agrônomo de Campinas, SP, por solicitação da Fazenda Experimental de Ipanema, do Ministério da Agricultura. Trata-se do “Ensaio Oficial nº 257 – Classe T”, datado de 28/10/1947, refere-se ao trator de rodas, tipo *standard*, marca Allis Chalmers, mod. B, que já havia sido ensaiado em Nebraska

(*Test Report N<sup>o</sup>. 302*) apresentando 15,7 HP de potência máxima na polia e 669 kgf de tração máxima na barra.

Na Fazenda Ipanema, antecessora do ex Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA), do Ministério da Agricultura, o primeiro ensaio ocorreu em 1949. Tratava-se de um trator de rodas, tipo *standard*, marca MAP (*Manufacture d'Armes de Paris*), mod. 2H88, que já havia sido ensaiado na *Station Centrale d'Essais de Machines* de Paris, tanto em relação à potência na polia (34 HP/750 rpm), como na barra de tração (24 HP, em pista de terra) (MIALHE, 1996).

No decorrer desse período até os dias atuais, os estudos acerca do desempenho de motores agrícolas tiveram sua importância diminuída frente a temáticas como desempenho em tração, ergonomia e segurança em tratores agrícolas. Infelizmente, as avaliações qualitativas similares às realizadas pela Universidade de Nebraska, ocorreram no Brasil somente até o ano de 1960 (MIALHE, 1996). Desde o encerramento das atividades do CENEA, em 1990, o Brasil ficou sem maiores referências na área de ensaios de tratores e/ou motores agrícolas.

## **2.8 Ensaio dinamométricos**

Os motores de combustão interna (ciclo Otto e Diesel) são ensaiados em laboratórios por meio de um equipamento, denominado dinamômetro de absorção. O uso de dinamômetros é fundamental na condução de ensaios de motores de tratores agrícolas. De acordo com Stone (1999), o dinamômetro é o item mais importante num banco de provas de motores, e é utilizado para medir o torque e o consumo específico de combustível de um motor. Todavia, esses equipamentos necessitam muitas vezes de uma infraestrutura apropriada para sua instalação, como local adequado, sistema de exaustão de gases, entre outros.

### 2.8.1 A importância dos dinamômetros móveis

Uma das dificuldades que se pode enfrentar na realização de ensaios dinamométricos em tratores agrícolas reside no fato de que, se o dinamômetro é fixo, os tratores objeto de avaliação tem que se deslocar até o local de realização do ensaio. Tal fato por vezes inviabiliza o processo de estudo do funcionamento dessas máquinas. Para que tal metodologia possa se tornar mais usual e aplicada, pode-se utilizar como recurso o deslocamento do equipamento e da equipe de avaliação até o local onde serão realizados os testes, conforme relatam Alvarez e Huet (2008) em seus trabalhos.

A realização de atividades de avaliação e de inspeção de máquinas agrícolas no local onde as mesmas operam não figura como um acontecimento recente no Brasil e no mundo. Seja em qualquer tipo de inspeção, compulsória ou não, o órgão que realiza o ensaio se responsabiliza pela entrega de um relatório, orientando o usuário (consumidor) acerca da situação da máquina e dos cuidados no funcionamento da mesma (ROTZ e BOWERS, 1991).

Para a avaliação sistemática de tratores agrícolas após a sua utilização conhece-se a experiência exitosa do Projeto *Scorpius* do Instituto de Ciência e Tecnologia Francês (Cemagref), que foi realizado no final da década de 90. Este projeto foi desenvolvido a partir de financiamentos da Comunidade Europeia (CE) como um programa de difusão, de inovação e de transferência de tecnologia, decorrendo dele o projeto de um dinamômetro móvel (ALVAREZ E HUET, 2008).

### 2.8.2 Normalização para ensaios dinamométricos de motores agrícolas

Para a realização dos ensaios dinamométricos, existem normas oficiais que devem ser seguidas. Tais normas permitem levantar informações quantitativas, por meio das quais o desempenho de um trator agrícola pode ser julgado segundo uma metodologia pré-estabelecida e padronizada.

A OECD e a *International Standards Organization* (ISO) são as principais entidades que norteiam e padronizam a realização desses ensaios. Segundo

Barbosa et al. (2008), a ABNT tem aprovada norma, em vigor desde fevereiro de 1985, que fornece os parâmetros relativos aos ensaios dinamométricos de motores de ciclo Otto e Diesel, com as seguintes definições: potência observada (kW), torque (N.m), consumo específico de combustível ( $\text{g.kW.h}^{-1}$ ).

A OECD criou os códigos de ensaios, visando tornar comumente aceitáveis os procedimentos na Europa. Em 1986 a legislação de Nebraska mudou suas leis referentes aos ensaios e adotou o padrão da OECD. A partir de 1988 o *National Test Tractor Laboratory* (NTTL) tornou-se a estação de ensaios oficiais nos Estados Unidos, seguindo os códigos criados pela OECD (SRIVASTAVA et al., 1993).

Poydo (2003) apud Machado (2008) ressalta a importância de se conhecer a norma padrão para realizar os ensaios de motores, pois de acordo com o padrão técnico-normativo escolhido, existirão diferenças nos valores obtidos, para maior ou para menor. Estes autores citam as seguintes normas:

- *Society for Automotive Engineers* (SAE) – Sob esta norma ensaiam-se os motores com (potência líquida), isto é, sem os seus agregados de série, que consomem potência (potência bruta): alternador, bomba d'água, polias diversas, filtro de ar, sistema de exaustão e abafamento, etc. O ensaio é realizado sob condições de temperatura ambiente de  $15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pressão atmosférica de  $101.325\text{ Pa}$  ( $760\text{ mmHg}$ ).
- *Deutsches Institut für Normung* (DIN) – Norma alemã onde se ensaiam os motores da forma como serão aplicados no veículo ou máquina agrícola, com todos os agregados de série nas mesmas condições ambientais da SAE.
- *Inspettorato Generale della Motorizzazione* (IGM) – Norma italiana similar à norma DIN.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Desenvolvida com base nos parâmetros da DIN, porém nas condições ambientais de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e na pressão de ar seco, que representa a média das dez principais cidades brasileiras ( $99.000\text{ Pa}$ ).

Conforme descrito anteriormente, cada norma utiliza um determinado procedimento de ensaio e, leva em consideração dois fatores, que interferem nos resultados obtidos. Um deles é o fator atmosférico, e outro relacionado com o motor propriamente dito, chamado de fator motor.



O fator atmosférico está relacionado diretamente com a temperatura ambiente e com a pressão atmosférica, e de forma menos intensa com a umidade relativa do ar. Ao se dispor de uma fórmula de correção suficientemente precisa, será possível calcular a potência disponível em determinada situação geográfica, como é o caso de algumas regiões agrícolas brasileiras, localizadas acima do nível do mar.

De acordo com Márquez (2012), pode-se considerar perdas de potência para um motor de aspiração natural (sem turbo) de 1,0 a 1,5% para cada 100 metros de aumento de altitude. Isto significa que o motor proporciona mais potência quando trabalha com maior pressão atmosférica e com menor temperatura ambiente. Explica-se tal situação pelo fato de que as variações de pressão atmosférica e temperatura do ar modificam a quantidade de oxigênio presente no ar e que chega aos cilindros, o que afeta o funcionamento do motor e, principalmente, a potência máxima que este pode desenvolver e o nível de emissão de gases provenientes da queima de combustível.

Para comparar os resultados dos ensaios de potência a que se submete um determinado motor em condições atmosféricas diferentes, deve-se dispor de condições que se podem representar todos os ensaios realizados. Isto obriga a fixar condições de referência, sob as quais se devem realizar os ensaios, e estabelecer procedimentos de correção que permitam calcular a potência disponível no motor quando mudam as condições atmosféricas em relação às condições de referência, em uma grande parte como consequência da altitude sobre o nível do mar.

No entanto, não existe uma única fórmula de aceitação universal, que se pode utilizar em um amplo intervalo de condições atmosféricas, que permita corrigir de maneira exata a potência do motor quando este trabalha em condições diferentes das normais. Isto é uma consequência de que, além da condição atmosférica, existe o fator motor, que depende da relação que existe entre a cilindrada do motor e a quantidade de combustível injetado, fixado pelo fabricante do motor.

O quadro 2 compara as potências obtidas por Márquez (2012) ao aplicar diferentes normas de ensaio a um mesmo motor, tomando como referência a potência correspondente ao ensaio segundo a norma DIN 70020.

Norma	Pressão atm. (bar)	Temp. ambiente (°C)	Temp. combustível (°C)	Tipo combustível (kJ/kg)	Potência obtida (%)
SAE J1995	1	25	40	43 300	111
ISO 14396	0,99	25	37-43	RF75T96	107
SAE J1349	1	25	40	43 300	104
ECE R24	0,99	25	40,5	RF03A84	104
DIN 70020	1	20	40	Fabricante	100
80/1269/CEE	0,99	25	40,5	Fabricante	99
97/68/CE	0,99	25	33-43	-	107
OECD	> 0,966	16-30	Fabricante	Fabricante	-

Quadro 2 - Comparação das potências obtidas ao aplicar diferentes procedimentos de ensaios de motores agrícolas.

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

Segundo Márquez (2012), quando se realiza um ensaio de motor se deve fornecer, junto com a potência, as condições atmosféricas (pressão e temperatura do ar) que predominavam no momento da medição.

As normas de referência para ensaios de tratores são o Código II da OECD, que consiste no código oficial tido como padrão para ensaios de desempenho de tratores agrícolas, ISO 789/1 (1990), ISO 2288 (1979) e NBR 5484 (1985) ou NBR 1585 (1996).

De acordo com Silveira e Sierra (2010), os ensaios realizados na maioria das estações mundiais são estabelecidos pelos códigos da OECD, tendo assim a possibilidade de se comparar os tratores por meio da utilização de uma norma comum, sendo que valores relativos à potência e ao consumo de combustível são obtidos na tomada de potência (TDP) do trator, por meio de um dinamômetro de absorção, enquanto que no ensaio da barra de tração (BT) o trator traciona uma carga em uma pista de concreto.

### 2.8.3 Ensaio por meio da TDP e as perdas de potência

O sistema de transmissão é o conjunto de elementos que garante a transmissão de potência do motor para os diferentes sistemas a se utilizar, como: o sistema hidráulico, a TDP e as rodas motrizes (MÁRQUEZ, 2004).

O uso da TDP é bastante frequente, pois se trata de um ponto de fácil acesso, o qual se encarrega de transmitir a potência e o torque gerados pelo trabalho do motor a qualquer equipamento, implemento ou máquina agrícola que permita o acoplamento compatível. Segundo Márquez (1990), o uso da TDP em tratores agrícolas começou no intuito de torná-los aptos a realizar atividades de colheita, acionando equipamentos próprios para a realização de tal tarefa.

Contudo, a utilização da TDP dos tratores agrícolas possibilita condições para que os motores dessas máquinas possam ser ensaiados sem a necessidade de separar o motor do restante da estrutura, visto que as cargas de frenagem geradas pelo dinamômetro podem ser aplicadas ao motor por intermédio da ação do sistema da TDP. Além disso, os ensaios de motores são realizados com todos os elementos necessários para o seu funcionamento e nas mesmas condições em que o agricultor o vai receber. Assim, os ensaios por meio da TDP são utilizados como referência nos códigos de ensaio que se aplicam aos tratores agrícolas.

De acordo com Mialhe (1974), os ensaios da TDP abrangem três séries de determinações: ensaio de potência máxima (duas horas), ensaio de potência máxima na velocidade nominal (540 ou 1000 rpm) e ensaio com cargas (torques) parciais, sendo que todas são previstas em norma.

Um aspecto importante que deve ser considerado, diz respeito à relação de transmissão entre o motor e a TDP. As rotações normalizadas das tomadas de potência são 540 e 1000 rpm, para as quais, cada fabricante ajusta a relação de transmissão motor/TDP para que esta rotação “normalizada” coincida com a rotação que o motor forneça uma determinada potência (MÁRQUEZ, 2012).

Sabe-se que a determinação de torque obtida em cada ponto de funcionamento do motor pode ser realizada diretamente no volante (saída do virabrequim). Porém, quando o procedimento de ensaio determina que o motor esteja montado no trator e em condições normais de funcionamento (ensaio realizado por meio da TDP), devem-se considerar as perdas de potência devido ao

funcionamento em vazio do sistema hidráulico e ao atrito e calor gerados pelos pares de engrenagens das caixas de câmbio, que transmitem o movimento desde o motor até a TDP.

Neste último caso, o torque medido por meio do freio dinamométrico será menor, devido as perdas que se produzem na transmissão, que para um trator agrícola podem variar entre 4 e 12%, em função da complexidade da transmissão e de sua relação com a TDP (MÁRQUEZ, 2012).

A norma ASAE EP496.2 (2003), apresenta as perdas nas diversas etapas de transmissão de potência para a TDP e para a barra de tração, e a relação entre elas, conforme ilustrado na figura 8. Esta representação considera perdas em torno de 10 a 13% da potência produzida no motor até a TDP, devido às perdas decorrentes no sistema de transmissão.

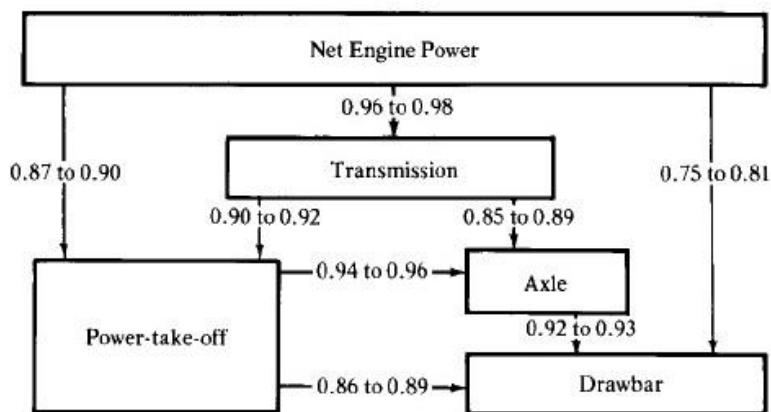


Figura 8 - Relação de potência e máximo desempenho de energia mecânica esperado para um trator agrícola com tração simples sobre pista de concreto.

Fonte: ASAE EP496.2 (2003).

#### 2.8.4 Resultados dos ensaios de motores

Normalmente, cada norma de ensaio especifica a forma de apresentação dos resultados dos ensaios de motores. Em geral, esses resultados são apresentados de

forma simplificada, por meio de um gráfico e dados numéricos sobre alguns pontos de interesse (MIALHE, 1996).

Ainda segundo o autor, nas curvas que caracterizam o desempenho de motores de tratores agrícolas, conforme ilustra a figura 9, ocorrem cinco pontos de interesse:

Ponto 1 – Ponto de potência efetiva máxima: representa o máximo valor atingido pelo produto torque x velocidade angular, capaz de ser obtido no ensaio do motor.

Ponto 2 – Ponto de torque máximo: expressa condição operacional na qual ocorre o maior valor para a pressão média efetiva capaz de ser desenvolvida nos cilindros do motor. Este ponto marca o limite inferior de velocidade angular da faixa de utilização do motor.

Ponto 3 – Ponto de torque de potência efetiva máxima: trata-se do torque que possibilita a obtenção da potência máxima. Este ponto marca o limite superior de velocidade angular da faixa de utilização do motor.

Ponto 4 – Ponto de consumo específico mínimo: é o ponto em que ocorre o máximo rendimento termomecânico e, portanto, condições operacionais ideais em termos de rotação e torque para o motor.

Ponto 5 – Ponto de consumo horário ótimo: corresponde a condição operacional em que ocorre o ponto de consumo específico mínimo.

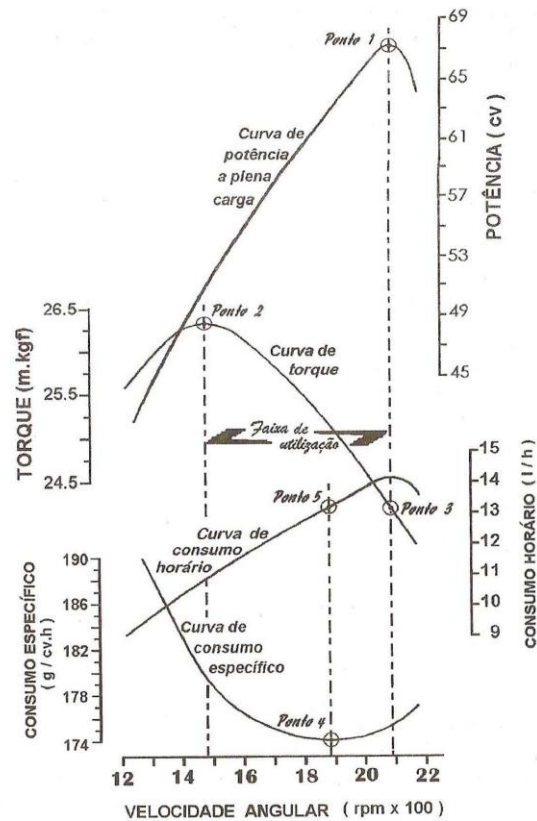


Figura 9 - Curvas características de desempenho de um motor Diesel e os principais pontos caracterizadores do funcionamento a plena carga.

Fonte: Mialhe, L. G. (1996).

Além desses pontos de interesse, podem-se relacionar alguns índices e parâmetros de avaliação do desempenho de um determinado motor. O índice de elasticidade, a capacidade de sustentação de conjugado, também conhecida como “reserva de torque” e a reserva de rotação são atributos de desempenho medidos na faixa de utilização do motor para condição de plena carga. A denominada faixa de utilização do motor é uma região delimitada pela rotação de torque máximo (ponto 2) e de potência máxima (ponto 1).

## 2.9 Nível de ruído emitido pelo motor Diesel

Desde o início da fabricação de tratores agrícolas no Brasil, na década de 60, desempenho e produtividade foram aspectos priorizados nos projetos destas máquinas, quando comparados ao conforto e a segurança dos operadores, submetendo-os a adaptação das condições da máquina desprezando, dessa forma, os princípios ergonômicos (NAGAHAMA, 2012).

Embora, nos últimos anos, as empresas fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas tenham dedicado maior atenção, com conhecimentos técnicos e ergonômicos, aos postos de trabalho dos operadores, verifica-se que muitas exigências ainda não foram atendidas (NIETIEDT et al., 2012).

Devido ao aumento no rigor das normas de segurança de trabalho, há tendência para a melhoria das condições de ergonomia e segurança do operador, visando a melhorar as condições de trabalho, diminuir o nível de fadiga ao qual este está exposto, diminuir o risco de acidentes e aumentar a produtividade e qualidade do trabalho (ALVES, 2009).

A utilização de tratores agrícolas acaba expondo os operadores a diferentes agentes que podem ser nocivos à saúde como, por exemplo, o ruído, que dependendo da intensidade do mesmo, leva à ocorrência de perda gradual da sensibilidade auditiva do operador (PIMENTA JUNIOR et al., 2012). O ruído é um agente contaminante de tipo físico; sendo um som não desejável e, desta forma, incômodo (GANIME et al., 2010). Por ter um alto efeito fisiológico e psicológico o ruído necessita de mais atenção, devido sua importância em diversas áreas (GÓMEZ, 2011). Mialhe (1996), afirma que o ruído pode causar lesões ao ser humano, cuja gravidade depende de sua magnitude física, do tempo de exposição e do estado psíquico da pessoa a ele exposta.

De acordo com Simone et al. (2006), o ruído é proveniente de diferentes fontes nas máquinas agrícolas. O escapamento é responsável por 45 a 60% do total emitido, sendo esse o maior causador de ruído. As demais fontes emissoras são: aspiração do motor (15 a 20%), ventilador (12 a 20%) e vibração, (15 a 20%).

Assim como para a realização de ensaios de motores agrícolas, para a avaliação do nível de ruído emitido por tais motores existe uma normalização a ser seguida. Neste caso as avaliações basearam-se no método descrito na ISO 5131

(1982). Por essa norma, aplica-se a medição do nível de ruído, no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas. Ainda segundo esta norma, na posição e momento do ensaio, a temperatura ambiente deve estar entre  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$  e a velocidade do vento deve ser inferior a  $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ .

A Norma Regulamentadora – NR 15, elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), refere-se às atividades e operações insalubres e, estabelece limite máximo de tempo tolerado à exposição diária a fontes emissoras de ruído contínuo ou intermitente, isto é, aqueles que não são ruídos de impacto (BRASIL, 2011).

Cunha et al. (2012), citam que a intervenção humana para redução do ruído está ligada à redução da intensidade dos mesmos no seu conjunto causador, à diminuição do tempo de exposição ou ao uso de equipamentos de proteção individual (EPI). Neste sentido, segundo Aybek (2010), a utilização de cabines pode ser um método para reduzir a exposição do operador ao ruído.



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Bancada dinamométrica móvel

As avaliações de desempenho do motor dos tratores agrícolas foram feitas por meio da utilização de um dinamômetro móvel, o qual foi o principal instrumento utilizado para a geração dos dados.

O dinamômetro consiste em um dispositivo que tem por função a geração de uma carga resistente à rotação do motor, objetivando a frenagem do mesmo. Para tanto, fez-se uso de um dinamômetro de correntes de Foucault ou elétrico da marca EGGERS modelo PT 301 MES (Figura 10).



Figura 10 - Dinamômetro móvel da marca EGGERS, modelo PT 301 MES utilizado na condução dos ensaios de motores agrícolas.

As principais especificações técnicas deste equipamento podem ser visualizadas no quadro 3.

<b>Princípio de funcionamento</b>	Indução eletromagnética
<b>Sistema de frenagem</b>	Dois freios por correntes parasitas
<b>Refrigeração</b>	Ar
<b>Rotação máxima permissível (RPM)</b>	2.500
<b>Potência máxima contínua (kW/cv)</b>	551/750
<b>Potência máxima intermitente (kW/cv)</b>	603/820
<b>Torque máximo (N.m)</b>	5.800
<b>Exibição</b>	Display digital
<b>Alimentação elétrica (Volts)</b>	400/230
<b>Dimensões (CxLxA) (mm)</b>	3.100x1.800x1.580
<b>Massa (kg)</b>	1.250

Quadro 3 - Especificações técnicas do dinamômetro móvel da marca EGGERS, modelo PT 301 MES.

Fonte: Adaptado de Machine Manual Dynamometer PT 301 MES.

O dinamômetro disponível no Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) (Figura 11) é dotado de um rotor que gira imerso em um campo eletromagnético, acionado pela máquina em prova. A intensidade deste campo é controlada por uma bobina alimentada por corrente elétrica contínua, podendo assim, variar a carga aplicada. O mecanismo, por meio da tomada de potência (TDP) do trator, absorve a potência de saída de um motor qualquer que esteja acoplado ao dinamômetro, de maneira que uma tensão elétrica é responsável pela absorção da energia mecânica, e um fluxo de ar, gerado por dois exaustores localizados acima do rotor, exerce a função de extração e dissipação do calor gerado durante o ensaio.

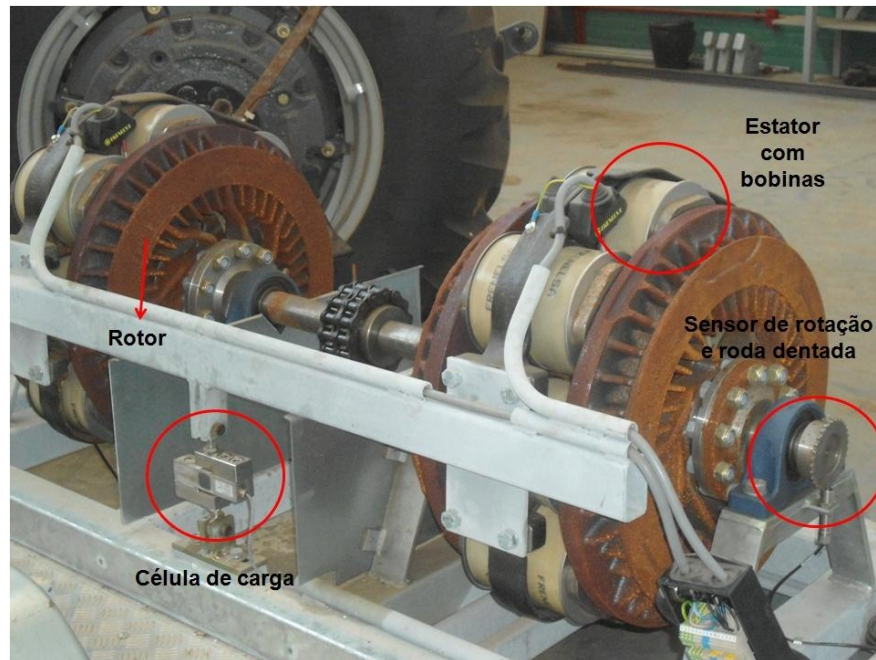


Figura 11 - Alguns dos principais componentes de um dinamômetro de correntes de Foucault.

Fonte: Registro fotográfico do autor.

As informações de potência efetiva e torque para cada rotação do motor, coletadas pelo equipamento são transferidas para um computador portátil, via cabo ou via *Bluetooth*. Neste computador está instalado um *Software* denominado de *EGGERS Power Control V3.2*, utilizado para realizar o controle do equipamento, o recebimento e o tratamento da informação, e visualização dos dados. Por meio deste programa computacional, podem-se inserir dados do trator a ser ensaiado, configurar e controlar o equipamento, executar funções de programação do ensaio e visualizar os resultados, por meio de uma tabela ou gráfico. A figura 12 ilustra a tela principal de operação do *Software* que acompanha o dinamômetro.

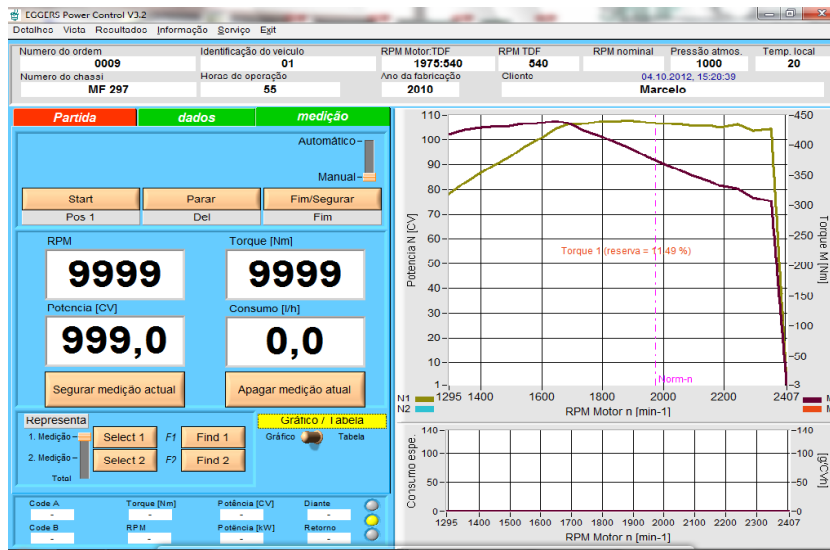


Figura 12 - Tela principal do Software EGGERS Power Control V3.2.

O deslocamento do dinamômetro móvel, o qual está montado sobre um reboque de duas rodas, dos demais equipamentos necessários para a condução das avaliações e da equipe de trabalho até os locais de realização dos ensaios foi realizado por meio de uma camionete, da marca Toyota, modelo Bandeirantes.

### 3.2 Demais equipamentos utilizados nas avaliações

#### 3.2.1 Gerador de energia elétrica

Visto que o principal equipamento utilizado nesta pesquisa técnico-científica é móvel e do tipo elétrico, o mesmo necessita de uma fonte também móvel de energia elétrica. Com base nisso, para que o equipamento pudesse ser utilizado nos locais mais distantes, sem haver a necessidade da dependência da rede elétrica da concessionária, utilizou-se um gerador de corrente elétrica monofásica contínua, da marca Branco, modelo BD-8000 E (Figura 13). Este gerador é refrigerado a ar e utiliza diesel como combustível para o seu funcionamento, além disso, é fácil de

transportar, pois conta com rodízios para a locomoção. As demais especificações técnicas deste equipamento são apresentadas no quadro 4.



Figura 13 - Gerador de energia elétrica da marca Branco, modelo BD-8000 E, utilizado para o acionamento do dinamômetro móvel.

<b>Motor (cv)</b>	13
<b>Potência máxima (KVA)</b>	6,5
<b>Potência máxima contínua (KVA)</b>	6,3
<b>Partida</b>	Elétrica
<b>Tensão de saída (V)</b>	120 / 240
<b>Autonomia (50% da carga) (hs)</b>	5
<b>Ruído (7m) (dB)</b>	79
<b>Dimensões (CxLxA) (mm)</b>	720x492x650
<b>Massa (kg)</b>	110

Quadro 4 - Especificações técnicas do gerador de energia elétrica da marca Branco, modelo BD-8000 E.

### 3.2.2 Tacômetro

Para a determinação das rotações por minuto (rpm) da TDP e do motor do trator, foi utilizado um tacômetro foto/contato digital da marca Minipa, modelo MDT-2238A (Figura 14).

Este equipamento é portátil, possui display LCD de cinco dígitos, ampla faixa de medição, de 0,5 a 20.000 RPM (modo contato) e de 2,5 a 100.000 RPM (modo foto) e função de armazenamento automático dos valores máximo e mínimo, além do último valor medido.

Optou-se por realizar estas medições utilizando um equipamento próprio e com precisão conhecida ( $\pm 0,05\%$ ), em função da imprecisão dos tacômetros que equipam os tratores agrícolas. Faz-se necessário obter esses valores para que se possa determinar a relação de transmissão, visto que o ensaio dinamométrico é feito por meio da TDP do trator.



Figura 14 - Tacômetro foto/contato digital da marca Minipa, modelo MDT-2238A, utilizado para a determinação das rotações da TDP e do motor dos tratores agrícolas avaliados.

### 3.2.3 Termo-higrômetro

Uma vez que o dinamômetro móvel não dispõe de sensores capazes de coletar alguns fatores atmosféricos, utilizou-se um medidor digital portátil (Figura 15) que contém as funções de anemômetro, luxímetro e termo-higrômetro, marca Icel, modelo WM-1850. Este instrumento de medição determinou as condições momentâneas de umidade relativa do ar (%), temperatura (°C) e pressão atmosférica (mbar), necessárias para a realização das devidas correções em relação ao desempenho das máquinas submetidas aos ensaios.



Figura 15 - Termo-higrômetro da marca Icel, modelo WM-1850, utilizado para a determinação momentânea das condições atmosféricas.

### 3.2.4 Medidor de nível de pressão sonora (decibímetro)

Para a medição do nível de ruído que chega ao ouvido do operador no posto de operação, utilizou-se um decibímetro digital da marca Bruel & Kjaer *Sound & Vibration Measurement*, modelo type 2240 (Figura 16), equipado com um microfone prepolarizado, com frequência de 20 Hz a 16 kHz, tipo 4188, de uma ou duas

polegadas, que mede simultaneamente todos os parâmetros mais importantes de ruído ambiente ao longo de um período de medição, controlado manualmente, que vai de um segundo até 60 minutos. Possui um módulo com visor LCD e sistema de aquisição de dados e bateria própria com autonomia de 16 horas de duração, o que possibilita ao sistema operar mesmo em locais onde não haja fonte fixa de energia elétrica. Este equipamento está em conformidade com os padrões internacionais e tem uma faixa dinâmica de medição de 30 a 140 dB.



Figura 16 - Decibilímetro da marca Brüel & Kjær, modelo type 2240, utilizado para avaliação do nível de ruído no posto de operação durante os ensaios.

### 3.3 Apresentação e divulgação do trabalho de pesquisa

Em um primeiro momento, o projeto de pesquisa foi apresentado e divulgado para as principais empresas concessionárias (representantes de diferentes marcas comerciais de máquinas agrícolas) da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Esse primeiro contato ocorreu por meio de visitas técnicas aos referidos



estabelecimentos, onde orientador e pesquisador tinham por objetivos firmar parcerias com a diretoria da empresa.

Foi distribuído um material informativo do projeto aos responsáveis e demais interessados (Apêndice A), contendo uma breve apresentação do Laboratório de Agrotecnologia (AGROTEC), objetivos do projeto, equipamentos utilizados nos ensaios, importância da participação das concessionárias, responsáveis pelo trabalho e principais apoiadores.

Além disso, durante a 45ª Expofeira Agropecuária de Santa Maria, que ocorreu entre os dias 27 e 30 de setembro de 2012 no Centro de Eventos da UFSM, realizaram-se palestras e demonstrações aos concessionários, convidados, representantes das fábricas de máquinas agrícolas, produtores rurais, mecânicos e público da feira em geral. Nessas apresentações foram abordados os seguintes temas: o uso do dinamômetro na avaliação de tratores agrícolas; em que consiste o procedimento de avaliação de motores; qual seria a contrapartida por parte das concessionárias; e, quais os benefícios que as mesmas poderão usufruir de posse dos dados obtidos durante a condução dos ensaios. O laboratório também esteve presente na Mostra do Centro de Ciências Rurais (CCR), onde, por meio de folders, banners e outros recursos áudio visuais, foi realizada a apresentação do projeto de pesquisa e demonstração do equipamento, ao público presente na feira.

### **3.4 Coleta dos dados**

Os dados para a pesquisa científica foram coletados por meio de ensaios dinamométricos conduzidos nas dependências das concessionárias de máquinas agrícolas de maior atuação da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Inicialmente eram realizadas, em uma planilha padrão (Apêndice B), anotações gerais referentes ao trator agrícola (ano de fabricação, número de horas, número do chassi, número de série, tipos de pneus e rodados, posto de operação, relação de transmissão, entre outras).

Foi feito o cadastramento destas máquinas com a finalidade de, futuramente, realizar um Projeto de Inspeção Técnica e Periódica de Tratores Agrícolas na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, cujo objetivo é fazer um

acompanhamento dos tratores novos avaliados nesse projeto. O cadastro contém, principalmente, os dados pessoais do produtor rural que adquiriu o trator submetido ao ensaio, e a localização geográfica de sua propriedade rural (Apêndice B).

Como os ensaios dinamométricos foram realizados por meio da TDP dos tratores agrícolas, acrescentou-se 6% aos valores de torque e potência verificados para todos os motores ensaiados, devido às perdas decorrentes do sistema de transmissão. Utilizou-se esse valor, pois foi levado em consideração que todas as transmissões são mecânicas e que os tratores que tiveram seus motores avaliados são novos, ou seja, apresentam pouco ou nenhum desgaste desse componente (MÁRQUEZ, 2012).

Com exceção do primeiro experimento, para todos os demais a norma utilizada nos ensaios foi a DIN 70020. Optou-se pela utilização dessa norma, pois acompanha o *Software* do dinamômetro, que faz de forma automática a correção da potência por meio de tal norma. Além disso, essa é a principal norma utilizada quando os ensaios são realizados por meio da TDP do trator agrícola.

Após a realização dos ensaios, em um segundo momento, os procedimentos de tabulação e análise das informações colhidas, bem como a elaboração dos relatórios finais, foram realizados no AGROTEC, parte integrante do NEMA, localizado no Campus da UFSM, na cidade de Santa Maria, RS.

#### 3.4.1 Variáveis observadas *versus* especificadas

Ao total 40 tratores agrícolas novos, com potência bruta do motor entre 22,1 e 183,9 kW, comercializados na região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, tiveram seus motores avaliados (Tabela 1). Esses tratores são de 16 modelos diferentes e pertencem a quatro marcas comerciais (Massey Ferguson, Valtra, John Deere e New Holland).

Tabela 1 - Marca, modelo, nº de espécimes e potência bruta do motor dos tratores agrícolas avaliados.

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Nº de espécimes</b>	<b>Potência (cv)</b>	<b>Potência (kW)</b>
Massey Ferguson	255 Advanced	2	50	36,78
Massey Ferguson	4265	2	65	47,81
Massey Ferguson	4275	10	75	55,16
Massey Ferguson	4283	1	85	62,52
Massey Ferguson	4291	4	105	77,23
Massey Ferguson	4292	1	110	80,91
Massey Ferguson	4297	3	120	88,26
Massey Ferguson	7140	1	140	102,97
Massey Ferguson	7150	1	150	110,33
Massey Ferguson	7180	2	180	132,39
Massey Ferguson	7415 Dyna 6	1	215	158,13
Valtra	A750	3	78	57,37
Valtra	BM 100	2	106	77,96
Valtra	BH 180	1	189	139,01
John Deere	5078E	3	78	55,30
New Holland	TL 75E	3	77	56,63

Um relatório com as principais características do trator e do motor ensaiado foi elaborado ao final de cada avaliação. Além dessas características, os dados dos ensaios dinamométricos e do nível de ruído foram inseridos, onde apenas um relatório, como modelo, se encontra no final desse documento (Apêndice C).

O Código II da OECD é uma norma padrão, de aceitação universal, para a realização dos ensaios de motores agrícolas. No Brasil, existe uma norma padrão para a apresentação dos resultados desses ensaios (ISO 1585), porém não é utilizada pelos fabricantes nacionais de tratores agrícolas. Por isso, fez-se necessário organizar os dados em um mesmo padrão comparativo entre as informações de torque e potência máxima contidas nos catálogos fornecidos pelos fabricantes com as coletadas por meio dos ensaios dinamométricos.

Para isso, utilizou-se um programa computacional, desenvolvido por alunos de Pós-Graduação do AGROTEC. O *Software* TRANSPOT 1.0 (2010), representado na figura 17, consiste em uma planilha de registro de dados com interface amigável,

que permite ao usuário inserir valores brutos de torque e potência obtidos em quaisquer normas de ensaio, obtendo como produto final esses mesmos valores, equivalente em outras quaisquer normas de ensaios comumente utilizadas em outros países (SAE J1995; ECE R24; DIN 70020; entre outras).

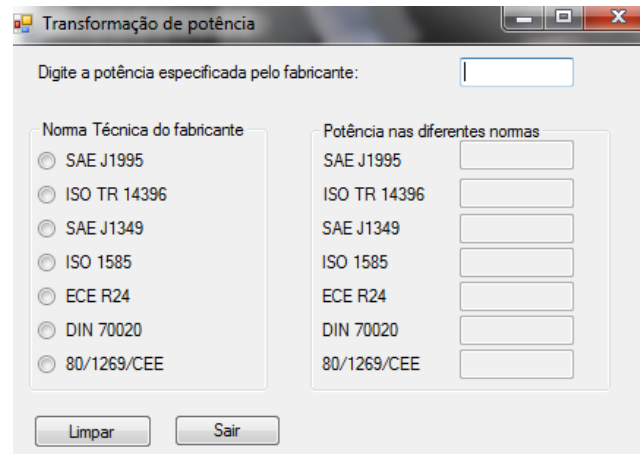


Figura 17 - Tela principal do *Software* TRANSROT 1.0 (2010) utilizado para comparar os valores de torque e potência verificados (ensaio dinamométrico) e especificados (fabricante).

Os dados foram normalizados de acordo com a norma ISO TR 14396. Optou-se pela utilização dessa norma, visto que a grande maioria dos fabricantes de tratores agrícolas a utilizam como referência para os valores de torque e potência máxima de seus tratores.

### 3.4.2 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos

Neste experimento, 12 tratores agrícolas novos comercializados por meio do programa Mais Alimentos tiveram seus motores avaliados. Dentre esses, analisaram-se três espécimes diferentes, porém de mesmo modelo: Massey Ferguson, modelo MF 4275; Valtra, A750; John Deere, 5078E e New Holland, modelo TL 75E (Figura 18).



Figura 18 - Modelos de tratores agrícolas avaliados: Massey Ferguson, modelo MF 4275 (a); Valtra, modelo A750 (b); John Deere, modelo 5078E (c) e New Holland, modelo TL 75E (d).

Segundo informações fornecidas pelos fabricantes, na tabela 2 pode-se observar um resumo das principais características dos motores que equipam os modelos de tratores agrícolas avaliados.

Tabela 2 - Resumo das principais características dos motores que equipam os modelos de tratores agrícolas avaliados.

Características do motor	Modelos de tratores agrícolas			
	MF 4275	VT A750	JD 5078E	TL 75E
Marca	Perkins	AGCO Power	John Deere	New Holland
Modelo	1104A – 44	320 DS	4045D	-
Sistema de injeção	Mecânica	Mecânica	Mecânica	Mecânica
Número cilindros	4	3	4	4
Aspiração	Natural	Turbo	Natural	Natural
Volume do motor	4.100 cm <sup>3</sup>	3.300 cm <sup>3</sup>	4.500 cm <sup>3</sup>	3.908 cm <sup>3</sup>

Assim como realizado por Fiorese (2011), também foram analisados oito níveis de rotação do motor (1250, 1400, 1550, 1700, 1850, 2000, 2150 e 2300rpm) dentre os quais todos apresentam carga significativa no motor. Todos os tratores possuem os valores de torque e potência máxima dentro desse intervalo de rotações.

### 3.4.3 Motores: Perkins *versus* MWM *International*

No início do ano de 2013 a Massey Ferguson trocou a motorização de três modelos de tratores agrícolas da série 4200. Os modelos: MF 4265, 4275 e 4283 passaram a ser equipados com motores da marca Perkins, e não mais com motores da marca MWM *International*.

Nesse sentido, foram ensaiados seis motores de seis tratores agrícolas, porém de mesmo modelo, o MF 4275, comercializado por meio do programa Mais Alimentos (Figura 19). Três tratores estavam equipados com motor Perkins e os outros três com motor MWM *International*.



Figura 19 - Marca e modelo de trator agrícola que equipava os motores avaliados: Massey Ferguson, modelo MF 4275.

Assim como no experimento anterior, também foram analisados oito níveis de rotação do motor (1250, 1400, 1550, 1700, 1850, 2000, 2150 e 2300rpm) dentre os quais todos apresentam carga significativa no motor. Todos os tratores avaliados possuem os valores de torque e potência máxima dentro desse intervalo de rotação do motor.

#### 3.4.4 Motor sobre alimentado por turbo compressor

A adição de turbo compressor em motores quatro cilindros com aspiração natural, de tratores agrícolas novos está se tornando uma prática bastante comum na região da Depressão Central do RS. Com o objetivo de aumentar a potência do motor, os produtores rurais da região exigem a introdução desse componente no motor, assim que seus tratores cheguem à concessionária.

Com o objetivo de quantificar o acréscimo de torque e potência gerados pelo motor após essa modificação e avaliar o nível de ruído emitido, realizou-se um ensaio dinamométrico de um motor de um trator agrícola da marca Massey Ferguson, modelo MF 4275, com posto de operação do tipo cabinado (Figura 20).



Figura 20 - Marca e modelo de trator agrícola que equipava o motor avaliado: Massey Ferguson, modelo MF 4275.

Os ensaios foram realizados para três configurações (tratamentos) distintas do motor: sem a presença do turbo compressor, isto é, com o motor original de fábrica; com a presença do turbo compressor e com a presença do turbo compressor mais regulagem realizada na bomba injetora de combustível. Para cada tratamento foram feitas três repetições.

Dessa forma, foram analisados oito níveis de rotação do motor (1250, 1400, 1550, 1700, 1850, 2000, 2150 e 2300rpm) dentre os quais todos apresentam carga significativa no motor. Dentro dessa faixa de rotação do motor encontram-se os valores de torque e potência máxima. Os delineamentos experimentais e as análises estatísticas realizadas serão descritos no item 3.8.

O experimento foi conduzido nas dependências da Itaimbé Máquinas Agrícolas, concessionária autorizada Massey Ferguson, localizada no município de Santa Maria. A instalação do turbo compressor foi feita por mecânicos da própria empresa. Já a regulagem da bomba injetora foi realizada em uma bancada de testes por um técnico especializado (bombista<sup>1</sup>), em uma concessionária local da marca Delphi, tradicional fabricante de sistemas e dispositivos para injeção de combustível diesel.

A regulagem desse dispositivo foi feita em bancada de teste de bomba injetora e foi baseada na experiência profissional do bombista responsável pelo serviço. O débito ou carga de óleo diesel da bomba injetora passou de 67 ml a 800 rpm da bomba injetora para 77 ml, isto é, teve um incremento de 15% de óleo diesel injetado.

O modelo MF 4275 conta com motor da marca Perkins, modelo 1104A – 44, de quatro cilindros, injeção direta, aspiração natural e volume interno do motor com capacidade para 4.100 cm<sup>3</sup>. Este motor, segundo informações fornecidas pelo fabricante, alcança 56 kW (75 cv) de potência máxima a uma rotação do motor de 2.200 rpm (rotação nominal) e 275 N.m de torque máximo a 1.400 rpm. A bomba injetora de combustível é do tipo rotativa, marca Delphi e modelo 1463. Já o turbo compressor adicionado é da marca Master Power, modelo APL 240 e possui pressão de admissão de 1,0 bar.

Na figura 21 vê-se a parte superior do motor Perkins antes (a) e depois (b) da instalação do turbo compressor sobre as conduções de admissão de ar e de saída

---

<sup>1</sup> Bombista: Nome regional atribuído ao profissional especializado na manutenção preventiva, reparação e regulagem de bombas injetoras.



dos gases de escape. Em evidência na figura 21a encontra-se o silenciador do cano de escapamento, responsável por reduzir o nível de ruído emitido pelo motor, que precisa ser retirado quando se adiciona o turbo compressor no motor, e o turbo compressor na figura 21b.

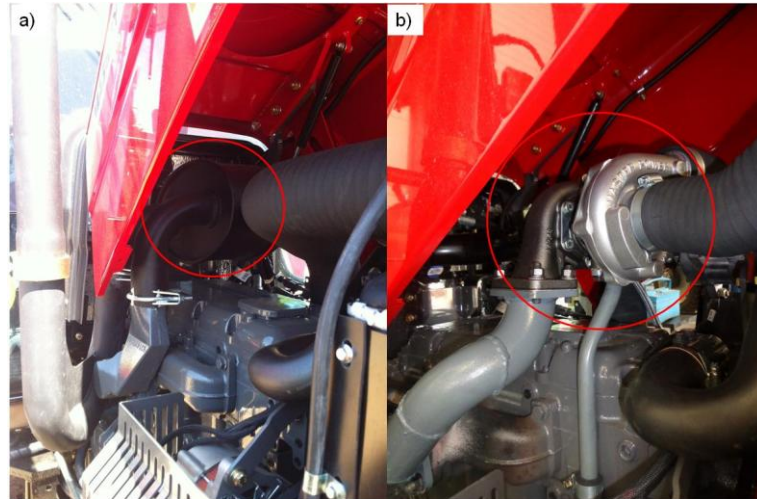


Figura 21 - Motor sem turbo compressor (configuração original), com a presença do silenciador (a) e com o turbo compressor, sem a presença do silenciador (b).

### 3.5 Realização dos ensaios

A operacionalização dos ensaios ocorreu de maneira sistemática. Geralmente, três pessoas eram necessárias para a realização dos ensaios, contudo, devido ao número de motores que eram avaliados em determinadas situações, esse número poderia ser de até quatro estudantes. Aproveitando os recursos humanos disponíveis, em determinados dias de trabalho, podia-se avaliar até seis motores, sendo três pelo período da manhã e três à tarde. Ao final deste documento (Apêndice D) encontra-se um protocolo com instruções de como proceder com a realização de ensaios dinamométricos, usando o dinamômetro móvel PT 301 MES.

Ao chegar à concessionária posicionava-se o dinamômetro móvel em um local plano e afastado do trânsito de veículos e pessoas, geralmente aos fundos do pátio de máquinas, local de baixo nível de ruído ambiente. A fim de se evitar a

movimentação do equipamento durante o período de ensaio, o freio manual de estacionamento era acionado (Figura 22). Para não haver uma oscilação lateral do mesmo, que pudesse comprometer as medições feitas pela célula de carga, dois apoios (Figura 22) foram ajustados por meio de rosca, fazendo com que o dinamômetro permanecesse estável. O gerador de energia elétrica era alocado a, aproximadamente, 30 metros de distância do local dos ensaios, e por meio de um cabo de energia, de mesmo comprimento, o conectava ao dinamômetro.

Por meio da extensão da árvore de transmissão articulada<sup>2</sup> acoplava-se o dinamômetro à TDP do trator, sendo tomados os devidos cuidados com relação ao alinhamento transversal do trator com o equipamento, e para que a inclinação longitudinal dessa árvore fosse nula ou a mínima possível, conforme ilustrado na figura 22. Para atender a esse requisito, quando necessário, fez-se uso de quatro pranchas de madeira (Figura 22), que eram posicionadas sob as rodas do trator avaliado a fim de suspendê-lo e minimizar tal inclinação. Na grande maioria dos casos, utilizava-se a regulagem manual de inclinação, por meio de uma roda estabilizadora, localizada na parte dianteira do equipamento.

---

<sup>2</sup> Árvore de transmissão articulada: Também conhecida por árvore cardan. Trata-se de uma árvore telescópica (pode variar o comprimento) provida de juntas universais e apresenta, em cada extremidade, uma luva de acoplamento.

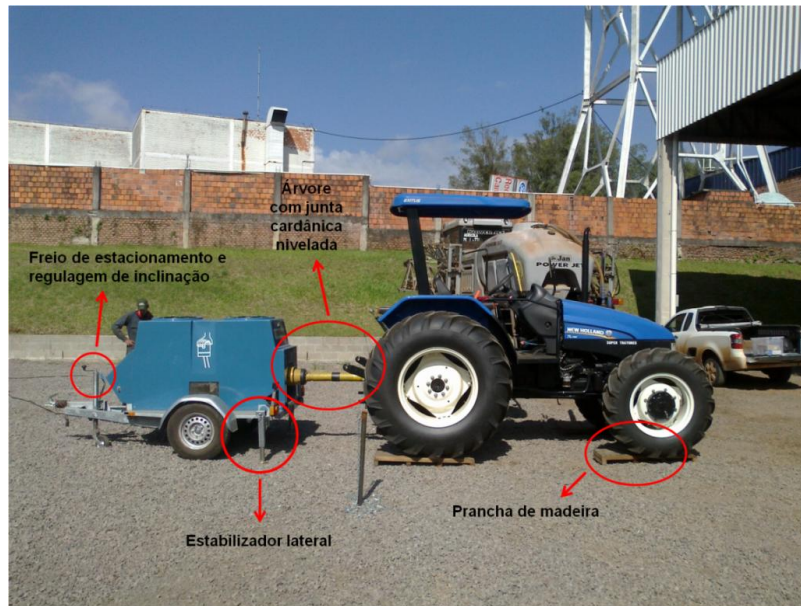


Figura 22 - Dinamômetro móvel e trator agrícola devidamente posicionados e acoplados por meio de uma árvore cardan.

Depois de o trator e o dinamômetro estarem devidamente posicionados, realizava-se um aquecimento do motor, utilizando o próprio dinamômetro móvel, no modo manual, onde o motor era posto a trabalhar em regime de rotação máxima (máxima aceleração) e por meio, da submissão de cargas diminuía-se a rotação do motor, até estabilizar próximo da rotação normal de trabalho, durante um período de 20 minutos, tempo esse necessário para que o motor alcançasse sua temperatura ótima de funcionamento.

Realizada essa etapa inicial, prosseguia-se com as avaliações propriamente ditas. Via *Bluetooth* conectava-se o dinamômetro a um computador portátil, que por meio de um *Software* (descrito no item 3.1) eram inseridas, de forma manual, informações pertinentes ao trator e as condições atmosféricas do ensaio. O *Software* ficava a cargo de realizar as leituras e aquisição dos dados de forma automática, isto é, era programado para fornecer cargas ao motor e fazer medições de torque e potência a cada 50 rpm.

Todas as determinações de potência disponível eram realizadas com a bomba injetora na posição de débito máximo (dentro da regulagem prevista pelo fabricante do trator), estando o regulador de rotações (governador) ajustado para obtenção da potência máxima contínua na velocidade angular nominal do motor

(velocidade angular, em rpm, no ponto de potência máxima especificada pelo fabricante, para funcionamento contínuo à plena carga). A velocidade angular da TDP, também em rpm, variava de acordo com as cargas impostas ao motor do trator pelo dinamômetro.

Os dados registrados no momento dos ensaios foram os seguintes:

- Velocidade angular do motor (tacômetro);
- Velocidade angular do dinamômetro (cronotacômetro);
- Momento de força no dinamômetro (célula de carga x braço de torque);
- Temperatura (termômetro de bulbo seco);
- Pressão barométrica (barômetro).

De acordo com o tamanho do motor, optou-se por utilizar a velocidade angular nominal da TDP de 540 ou 1000 rpm. Quando se avaliou motores com potência superior a 110,32 kW (150 cv) optou-se utilizar a TDP de 1000 rpm, e motores com potência inferior a esse valor utilizou-se a rotação padrão de 540 rpm. Isso se faz necessário, pois motores com torque elevado excedem o limite de frenagem do dinamômetro quando ensaiados com velocidade angular nominal da TDP de 540 rpm, ocasionando um superaquecimento do equipamento e por conseguinte, o comprometimento do ensaio.

Tendo em vista a realização dos ensaios por meio da TDP do trator, considerou-se um valor constante a potência perdida pela transmissão, conforme Linares et al. (2006), pois embora nas distintas relações de câmbio o número de pares de engrenagens interpostas entre o motor e a TDP é diferente, não se justifica estabelecer diferenças para este conceito.

Concomitantemente com o ensaio do motor, realizou-se a medição do nível de ruído emitido pelo mesmo, no posto de operação do trator (Figura 23a). Essa medição foi realizada em conformidade com a norma ISO 5131 (1982), descrita com maior detalhamento a seguir (item 3.7). Os valores obtidos foram contrastados com os níveis máximos de exposição diária permissível indicada na NR 15.

Visto que os valores de ruído eram mensurados por outro equipamento (item 3.2.4), manejado por uma pessoa posicionada no posto de operação do trator, onde os valores eram anotados pelo mesmo indivíduo em uma planilha, outro componente da equipe, geralmente o que manjava o *Software*, ficava responsável por sinalizar ao primeiro o momento exato de fazer as anotações de ruído, sempre a cada queda de 50 rpm do motor, conforme ilustrado na figura 23b.



Figura 23 - Medição do nível de ruído que chega ao ouvido do operador (a) e procedimento utilizado para realização de tal medição (b).

### 3.6 Ensaios dinamométricos conforme a norma DIN 70020

A norma oficial utilizada nos ensaios foi a DIN 70020 (*Deutsches Institut für Normung*). Essa norma define os passos e os procedimentos padrão a serem seguidos para realização dos ensaios em tratores agrícolas, permitindo que esses possam ser repetidos especificamente dentro das mesmas condições.

De todos os processos de avaliação de potência este é o mais conhecido e o que oferece maior credibilidade, pois a potência obtida a partir dessa norma é definida como “potência efetiva” ou “potência ao freio”, porque além de ser medida por meio dos freios dinamométricos, é a potência que efetivamente está disponível no motor, visto que este é ensaiado com todos os equipamentos e acessórios necessários ao seu funcionamento.

Este tem sido o procedimento tradicionalmente utilizado para definir a potência líquida do motor em utilização contínua. Os valores de potência obtidos a partir da norma DIN 70020 são os mais “verdadeiros” com relação à potência efetiva e/ou líquida do motor, por isso obtém-se relativamente à DIN um fator de 100% de potência.

A correção da potência em motores de tratores agrícolas, segundo a norma DIN 70020, deve ser feita multiplicando a potência medida por um fator de correção de potência (K), sendo que este fator inclui outros dois fatores: o fator de correção

atmosférico ( $f_a$ ) e o fator de correção do motor ( $f_m$ ). O fator atmosférico varia em função das condições do ambiente (temperatura e pressão atmosférica), e o fator motor de acordo com as configurações do motor (dois, três quatro ou seis cilindros, aspiração natural ou turbo alimentado, presença ou não de equipamentos e acessórios que possam consumir parte da potência gerada, entre outras).

O valor do fator de correção ( $K$ ) é calculado de acordo com a seguinte expressão matemática 4.

$$K = f_a f_m \quad (4)$$

Sendo:

$K$  – Fator de correção de potência;

$f_a$  – Fator de correção atmosférico;

$f_m$  – Fator de correção do motor.

Para se determinar o fator de correção atmosférico, a partir da norma utilizada, tem-se como referência uma temperatura ambiente de 20°C e pressão atmosférica de 1013 mbar. O valor deste fator é calculado mediante a equação 5, que relaciona os valores de temperatura e pressão no momento do ensaio com os valores de referência.

$$f_a = \frac{1013}{p} \times \left( \frac{273+t}{273+20} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Sendo:

$p$  – Pressão atmosférica local (mbar);

$t$  – Temperatura local (°C).

Segundo a norma, o valor do fator de correção do motor, tanto para motores de aspiração natural, quanto para motores turbo alimentados, é igual a um.

O valor total do fator de correção de potência (K) deve estar compreendido entre 0,9 e 1,1 para que a fórmula de correção seja de máxima precisão. Se, os valores de (K) sobrepassarem estes limites, convêm, além de realizar a correção, incluir as condições de temperatura e pressão sob as quais se realizaram os ensaios.

É pertinente salientar que o programa computacional que acompanha o dinamômetro móvel realiza de forma automática a correção dos valores de potência, com base na inserção manual dos valores referentes às condições momentâneas do ambiente (temperatura e pressão atmosférica).

### **3.7 Medição do nível de ruído conforme a norma ISO 5131**

No que diz respeito às medições do nível de ruído que chega ao ouvido do operador, utilizou-se, como referência, a norma oficial ISO 5131 (1982). Para essa avaliação, fez-se uso de um medidor de nível de pressão sonora digital da marca Bruel & Kjaer, já descrito no item 3.2.4, sendo que os resultados obtidos foram expressos na unidade de decibéis (dB) para cada rotação do motor analisada.

De acordo com essa norma, no momento do ensaio a temperatura do ambiente deve estar entre -5 e 30°C e a velocidade do vento no posto do operador não deve ser superior a 5 m/s. Ainda segundo a norma ISO 5131, somente a pessoa que vai tomar os dados deve permanecer no posto do operador.

No momento das medições, o decibelímetro deve estar posicionado perto do ouvido do operador, entre 700 mm (+/- 20 mm) acima, 100 mm (+/- 20 mm) à frente e 250 mm (+/- 20 mm) lateralmente em relação ao ponto de referência sobre o assento do operador, conhecido como *Seat Index Point* (SIP), traduzido como Ponto de Indexação do Assento, definido pela norma ISO 5353 (1978).

Outro procedimento padrão de ensaio, exigido pela norma, diz respeito aos tratores agrícolas que possuem posto de operação do tipo cabinado. Nessa situação, as medições devem ser realizadas com todas as aberturas fechadas

(portas, janelas e escotilhas), bem como condicionador de ar, sistema de ventilação e limpador de para-brisa desligados.

### 3.8 Delineamentos experimentais e análises estatísticas

Após a fase experimental de coleta dos dados, passou-se para a fase de análise. Tendo em vista o elevado número de modelos de tratores agrícolas avaliados, puderam-se realizar várias combinações e, conseqüentemente, comparações diretas entre eles.

Para a análise estatística dos resultados, utilizou-se o *Software* SISVAR da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2008), e o programa computacional Microsoft Excel<sup>®</sup>.

Por meio do *Software* foram calculadas as equações (modelos matemáticos) de melhor ajuste das curvas de torque, potência efetiva e ruído emitido pelo motor para as marcas de tratores e motores avaliados. Além disso, foi calculado o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ). Este coeficiente define a estimativa da qualidade do ajustamento dos dados à equação.

#### 3.8.1 Variáveis observadas *versus* especificadas

Determinou-se a significância das diferenças entre os dois tipos de informações de desempenho, observada *versus* especificada, por meio do teste t de *Student*, com nível de 5% de probabilidade de erro, a fim de conferir se os valores informados nas especificações técnicas e os valores verificados em ensaios dinamométricos apresentam diferenças estatisticamente significativas.

Para verificar a magnitude da variação entre os valores especificados e os verificados para as variáveis, torque do motor e potência efetiva, foi calculado o desvio padrão (DP). Dessa forma, quanto maior for o DP maior será a diferença de comportamento entre os valores informados pelo fabricante e os verificados durante



a condução dos ensaios, reduzindo a confiabilidade das informações do modelo avaliado.

Quanto ao coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o valor obtido serviu como base para observar a correlação das variáveis observadas e especificadas para cada classe avaliada. Este coeficiente é uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JUNIOR, 2009). Ainda segundo os autores, tal coeficiente de correlação varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore de outra.

De acordo com Dancey e Reidy (2006), a intensidade dessa correlação pode ser classificada como positiva ( $0 < r \leq 1$ ) ou negativa ( $-1 \leq r < 0$ ) e subclassificada em fraca ( $|0,10| \leq r \leq |0,30|$ ), moderada ( $|0,40| \leq r \leq |0,60|$ ) e forte ( $|0,70| \leq r \leq |1,00|$ ).

### 3.8.2 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos

A análise estatística desse comparativo foi baseada em quatro marcas comerciais (Massey Ferguson, New Holland, John Deere e Valtra) e oito rotações do motor, já descritas, compondo assim um experimento bifatorial no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, caracterizando um arranjo experimental  $4 \times 8 \times 3$ .

### 3.8.3 Motores: Perkins *versus* MWM *International*

Ao estabelecer esse outro comparativo envolvendo duas marcas comerciais de motores agrícolas (Perkins e MWM *International*) que equipam o mesmo modelo de trator, assim como na análise anterior, realizou-se um experimento bifatorial (duas marcas de motores e oito rotações do motor) no DIC com três repetições, caracterizando um arranjo  $2 \times 8 \times 3$ .

#### 3.8.4 Motor sobre alimentado por turbo compressor

Com relação à análise estatística dos dados referentes ao estudo da adição de um turbo compressor em um motor agrícola, também se realizou um experimento bifatorial (três configurações do motor e oito rotações do mesmo) no DIC com três repetições, caracterizando um arranjo experimental  $3 \times 8 \times 3$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Proposta de classificação para tratores agrícolas

Foi elaborada uma classificação para os tratores agrícolas comercializados no Brasil (Quadro 5), baseada na proposta de Márquez (2012), descrita no item 2.3. Para tanto, também foi levada em consideração a faixa de potência bruta disponível no motor, porém com algumas alterações, dentre elas, modificações na descrição de cada classe e a inclusão de uma nova faixa de potência, visto que, os tratores “brasileiros” possuem maior potência quando comparados com os tratores “europeus”. Márquez (2012) classifica um trator agrícola com 200 cv ou mais, por exemplo, como “extra grande”, quando no Brasil são comercializados tratores com mais de 400 cv de potência, como os tratores das séries 8R da John Deere, T9 da New Holland e Steiger da Case IH.

(continua)

Classe	Denominação	Potência (cv)	Potência (kW)	Descrição
I	Muito pequeno	≤ 30	≤ 22,1	1, 2 e 3 cilindros e volume interno < 1,5 litros
II	Pequeno	> 30 – 70	> 22,1 – 51,5	3 e 4 cilindros e volume interno 1,5 - 3,9 litros
III	Utilitário	> 70 – 100	> 51,5 – 73,5	3 e 4 cilindros e volume interno 3,9 - 5,0 litros
IV	Médio	> 100 – 160	> 73,5 – 117,7	4 e 6 cilindros e volume interno 4,0 - 7,0 litros
V	Grande	> 160 – 250	> 117,7 – 183,9	6 cilindros

(conclusão)

<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Potência (cv)</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Descrição</b>
VI	Muito grande	> 250 – 400	> 183,9 – 294,2	6 cilindros e volume interno 8,0 - 9,0 litros
VII	Extra grande	≥ 400	≥ 294,2	≥ 6 cilindros e volume interno > 12,0 litros

Quadro 5 - Classificação por faixas de potência bruta do motor dos tratores agrícolas de rodas comercializados no Brasil.

#### 4.2 Classificação dos tratores agrícolas avaliados

De acordo com a classificação proposta, os tratores agrícolas avaliados neste trabalho de pesquisa encontram-se entre as Classes II e V, pois em função da atividade agrícola desenvolvida na região determinada, muitas vezes, pelo tamanho das propriedades rurais, não foi possível avaliar tratores classificados como “muito pequeno” (Classe I), “muito grande” (Classe VI) e “extra grande” (Classe VII).

Conforme ilustrado na figura 24, metade dos tratores agrícolas que tiveram seus motores ensaiados pertence à Classe III (tratores utilitários), 30% à Classe IV, tratores médios, e os restantes encontram-se divididos entre as Classes II e V (10% em cada).

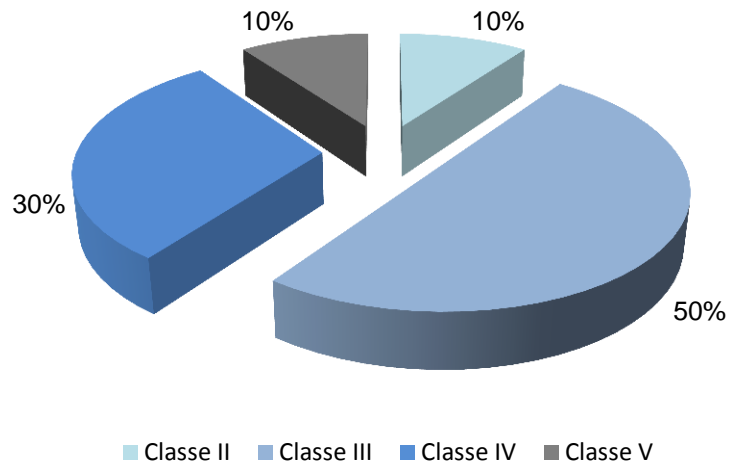


Figura 24 - Disposição dos tratores agrícolas que tiveram seus motores ensaiados conforme a classificação proposta.

Os tratores agrícolas utilitários representam a maioria dos tratores avaliados e, conseqüentemente comercializados, o que representa a demanda da região agrícola da Depressão Central do estado do RS, e vem ao encontro do que relata o IBGE (2006), onde 87,8% das propriedades rurais do respectivo estado possuem tratores com menos de 73,5 kW (100 cv) de potência, sendo que esses expressam 76,4% do total de tratores agrícolas existentes nesses estabelecimentos.

#### 4.3 Caracterização dos tratores e dos motores agrícolas avaliados

Quanto à divisão dos tratores agrícolas avaliados no que diz respeito a marcas comerciais (Figura 25), houve predomínio da marca Massey Ferguson com participação de 70%, seguida da Valtra (15%), John Deere (7,5%) e New Holland (7,5%).

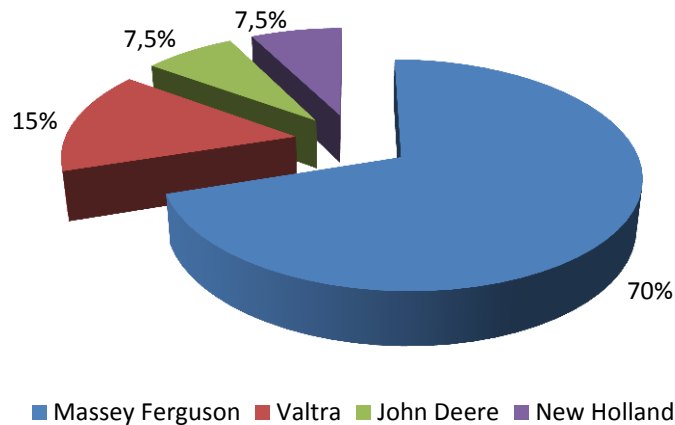


Figura 25 - Distribuição dos tratores agrícolas avaliados quanto à marca comercial.

Nesta linha, ao realizar um levantamento da composição do parque de tratores agrícolas em empresas rurais na região da Depressão Central do RS, Ereno (2008) encontrou predomínio de tratores da marca Massey Ferguson (42,2%), seguido pela marca New Holland (21,9%). A marca Valtra apresentou participação de 18,8% e, posteriormente, a marca John Deere, com 8,6% do total. No estudo realizado pelo autor, considerou-se a marca Ford dentro da marca New Holland, assim como, a marca Valmet dentro da Valtra.

A divisão dos motores ensaiados que equipam os tratores agrícolas, conforme marcas comerciais estão a seguir discriminadas (Figura 26).

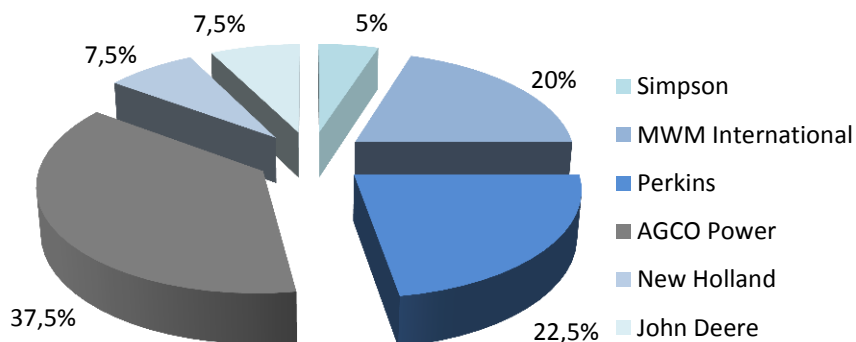


Figura 26 - Distribuição de motores quanto à marca comercial.

Ao total, seis marcas compuseram a população amostral de motores com participação decrescente em ordem da marca *AGCO Power* (37,5%), marca *Perkins* (22,5%), *MWM International* (20%), marcas *John Deere* e *New Holland* com igual participação de 7,5% cada e a marca *Simpson* em sexta posição (5%).

É interessante ressaltar que das seis marcas comerciais de motores ensaiados quatro (*Simpson*, *MWM International*, *Perkins* e *AGCO Power*) equipam os tratores agrícolas comercializados pela marca *Massey Ferguson*.

Dentre os tipos de motores agrícolas avaliados, o que apresentou maior representatividade, foi o motor quatro cilindros com aspiração natural, como pode ser observado na figura 27. Das 40 máquinas avaliadas 47,5% estavam equipadas com esse tipo de motor, 25% com motores também quatro cilindros, porém com sobre alimentação por turbo compressor, e os demais dividiram-se em motores seis cilindros, com sobre alimentação por turbo compressor (12,5%), três cilindros com “turbo” (7,5%), três cilindros com aspiração natural com participação de 5% do total, e apenas um modelo de trator estava equipado com motor de seis cilindros com sobre alimentação por turbo *intercooler*, o que representou 2,5% dos motores agrícolas avaliados.

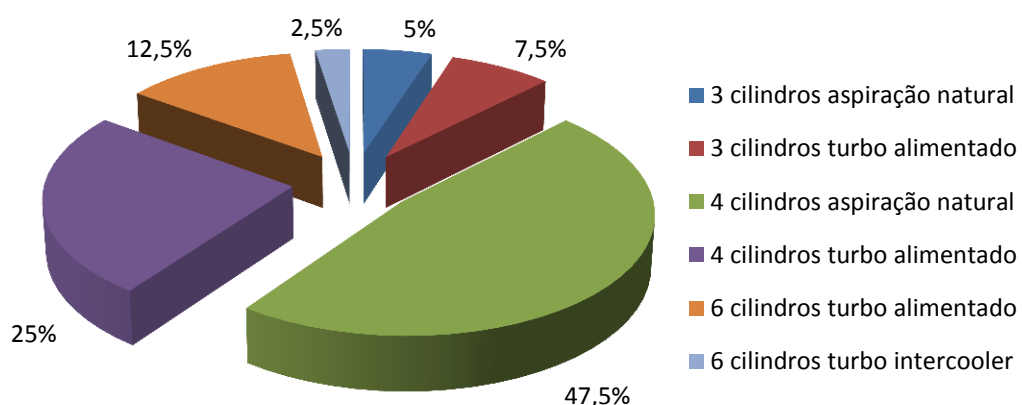


Figura 27 - Distribuição dos motores agrícolas avaliados quanto ao tipo.

Esses motores agrícolas também podem ser caracterizados individualmente com relação ao número de cilindros e alimentação de ar. Assim, 72,5% são motores com quatro cilindros, 15% com seis cilindros e 12,5% são motores com três cilindros. Seguindo esse raciocínio, 52,5% possuem alimentação de ar do tipo natural, 45% sobre alimentação por turbo compressor e apenas 2,5% sobre alimentação por turbo *intercooler*.

O predomínio de tratores agrícolas equipados com motor quatro cilindros e aspiração natural é um reflexo da criação de programas especiais de crédito agrícola, voltados ao pequeno e médio produtor, em especial ao programa Mais Alimentos.

De acordo com Brasil (2013), os tratores agrícolas são os principais produtos adquiridos pelos agricultores familiares, que em 2009, por meio do programa Mais Alimentos, foram responsáveis por 80,7% do total de vendas na faixa de 8,1 a 55,1 kW de potência (11 a 75 cv), incluindo cultivadores motorizados, totalizando 17.410 unidades vendidas.

A partir dos dados fornecidos pelos fabricantes, pôde-se fazer uma relação entre a potência e o torque disponível no motor dos tratores agrícolas avaliados e seu respectivo volume interno (Figura 28a e 28b).

A potência e o torque possuem relação direta com o volume interno do motor, sendo que, à medida que esse volume aumenta os dois parâmetros de desempenho do motor também têm seus valores modificados. Isso se deve a maior massa de ar que pode ser admitida pelo motor, onde uma maior quantidade de combustível também pode ser injetada no interior dos cilindros (mistura estequiométrica), elevando assim, o torque do motor e por consequência sua potência.



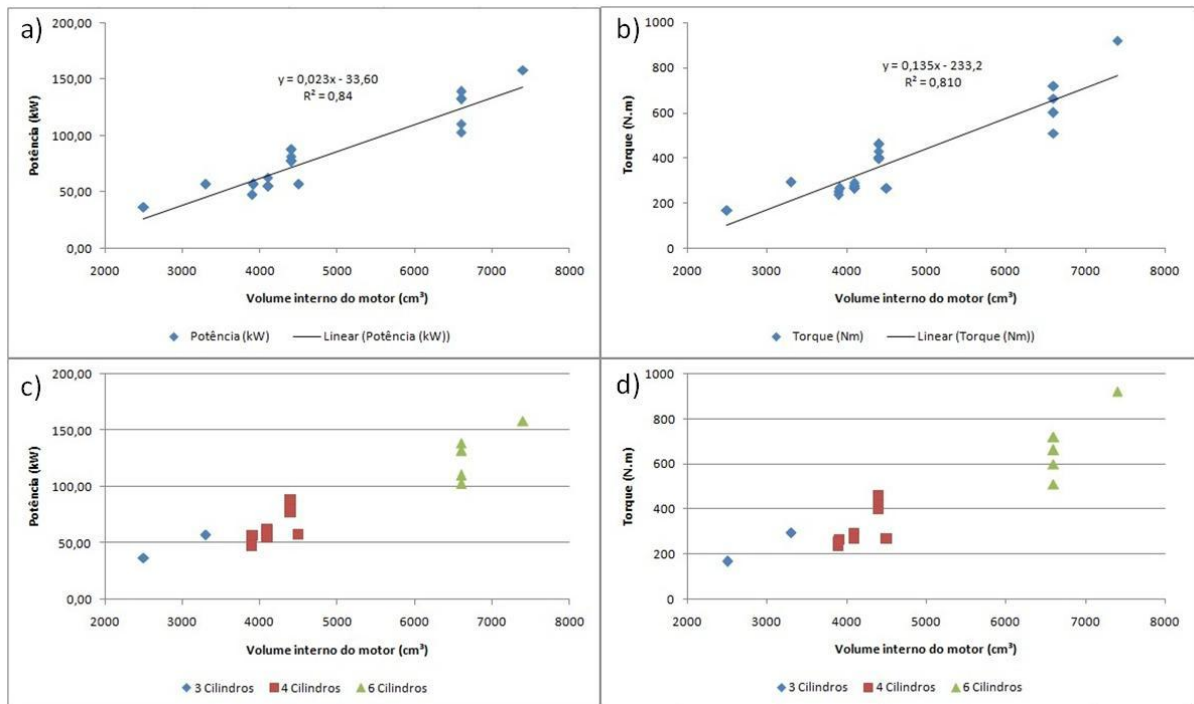


Figura 28 - Valores de potência (a) e torque (b) em função do volume interno do motor. Potência (c) e torque (d) para os diferentes números de cilindros do motor de todos os tratores agrícolas avaliados, de acordo com dados do fabricante.

Ao analisar potência e torque em função do volume interno do motor em referência ao número de cilindros do motor (Figura 28c e 28d), pode-se observar a faixa de atuação dos mesmos. Isto se faz necessário para conhecer os limites de potência e torque fornecidos pelos motores disponíveis no mercado brasileiro, sendo que, em muitos casos os mesmos modelos de motores equipam diferentes tratores agrícolas, porém fornecendo diferentes valores de potência e torque.

Ainda observando a figura 28c e 28d, percebe-se, por exemplo, que motores com quatro cilindros obtêm 47,8 kW de potência e, aproximadamente, 200 N.m de torque como limite inferior, podendo alcançar 88,3 kW de potência e 460 N.m de torque como limite máximo. Essa diferença pode ser explicada pela adição do turbo compressor no motor.

Quanto aos motores seis cilindros percebe-se um comportamento semelhante, onde a partir de quatro motores de mesmo modelo e volume interno (6600 cm<sup>3</sup>) pode-se obter 102,97, 110,33, 132,39 e 139,01 kW de potência e 510, 600, 720 e 663 N.m de torque. Esses valores podem ser obtidos alterando a

quantidade de combustível injetado no interior dos cilindros (regulagem da bomba injetora), pela quantidade de massa de ar admitida (regulagem da pressão de admissão do turbo compressor), adição de *intercooler* (resfriamento da massa de ar) e alteração da rotação nominal do motor (rotação de potência máxima).

#### 4.4 Comparações estabelecidas

##### 4.4.1 Variáveis observadas *versus* especificadas

Diante do confronto dos dados obtidos nos ensaios dinamométricos em relação às informações fornecidas pelos fabricantes (Tabela 3), pôde-se criar um cenário que possibilitou realizar inferências a cerca da qualidade das informações fornecidas, em relação à realidade encontrada no decorrer dos ensaios.

Tabela 3 - Valores de potência e torque especificados pelo fabricante e observados por meio de ensaios dinamométricos e as diferenças percentuais (variáveis especificadas – variáveis observadas) para os 40 tratores avaliados.

(continua)

Marca	Modelo	Potência* (kW)			Torque* (N.m)		
		Espec.	Obs.	Dif. (%)	Espec.	Obs.	Dif. (%)
<b>Classe II</b>							
MF	255 A	36,78	32,41	11,87	167	160,68	3,79
MF	255 A	36,78	34,03	7,47	167	168,71	-1,03
MF	4265	47,81	47,29	1,08	235,5	246,50	-4,67
MF	4265	47,81	47,60	0,44	252	265,02	-5,17
<b>Classe III</b>							
MF	4275	55,16	55,62	-0,83	267	315,31	-18,09
MF	4275	55,16	55,89	-1,33	267	289,56	-8,45
MF	4275	55,16	55,53	-0,67	267	302,83	-13,42
MF	4275	55,16	57,58	-4,37	267	308,12	-15,40

(continuação)

Marca	Modelo	Potência* (kW)			Torque* (N.m)		
		Espec.	Obs.	Dif. (%)	Espec.	Obs.	Dif. (%)
<b>Classe III</b>							
MF	4275	55,16	56,59	-2,59	267	279,77	-4,78
MF	4275	55,16	51,91	5,89	267	276,74	-3,65
MF	4275	55,16	54,97	0,36	267	278,26	-1,18
MF	4275	55,16	53,01	3,90	267	300,18	-9,16
MF	4275	55,16	56,39	-2,23	267	315,31	-14,66
MF	4275	55,16	55,12	0,08	267	295,65	-7,51
JD	5078E	55,30	53,29	3,63	257,38	279,77	-8,70
JD	5078E	55,30	55,67	-0,67	257,38	277,12	-7,67
JD	5078E	55,30	53,27	3,67	257,38	266,16	-3,41
NH	TL 75E	56,63	59,02	-4,21	264	291,87	-10,56
NH	TL 75E	56,63	59,54	-5,13	264	305,10	-15,57
NH	TL 75E	56,63	55,86	1,36	264	279,77	-5,97
VT	A750	57,37	53,26	7,17	296	310,77	-4,99
VT	A750	57,37	56,39	1,70	296	310,39	-4,86
VT	A750	57,37	59,85	-4,32	296	311,90	-5,37
MF	4283	62,52	55,50	11,22	288	300,18	-4,23
<b>Classe IV</b>							
MF	4291	77,23	81,55	-5,60	400	415,12	-3,78
MF	4291	77,23	78,24	-1,32	400	372,02	7,00
MF	4291	77,23	82,75	-7,15	400	401,51	-0,38
MF	4291	77,23	79,26	-2,63	400	372,02	7,00
VT	BM 100	77,96	74,32	4,67	398	404,53	-1,64
VT	BM 100	77,96	79,46	-1,92	398	415,12	-4,30
MF	4292	80,91	85,76	-6,00	430	414,36	3,64
MF	4297	88,26	93,60	-6,05	460	482,79	-4,95
MF	4297	88,26	98,84	-11,99	460	471,83	-2,57
MF	4297	88,26	101,33	-14,81	460	474,10	-3,06
MF	7140	102,97	108,50	5,37	510	516,82	-1,34
MF	7150	110,33	116,82	5,89	600	624,94	-4,16
<b>Classe V</b>							
MF	7180	132,39	149,46	-12,90	720	704,34	2,18
MF	7180	132,39	131,05	1,02	720	710,77	1,28

(conclusão)

Marca	Modelo	Potência* (kW)			Torque* (N.m)		
		Espec.	Obs.	Dif. (%)	Espec.	Obs.	Dif. (%)
<b>Classe V</b>							
VT	BH 180	139,01	129,25	7,02	663	650,65	1,86
MF	7415	158,13	162,65	-2,86	920	910,01	1,09

\* Norma ISO TR 14396.

Ao analisar os valores de torque (especificado e observado) para os tratores da Classe II, nota-se uma diferença percentual que vai de -5,17 a 3,79%. Isso significa que o segundo MF 4265 possui 13,02 N.m a mais quando comparado com o valor informado pelo fabricante (252 N.m), e o primeiro MF 255 Advanced 6,32 N.m a menos. A máxima diferença de torque ocorreu para o segundo modelo MF 4291 da Massey Ferguson, observando-se 27,98 N.m (7,00%) a menos quando comparado a informação especificada.

Seguindo esse critério, pode-se fazer uma análise para todos os tratores avaliados de todas as classes, onde valores percentuais negativos significam superioridade das variáveis observadas em relação às especificadas.

O modelo MF 4275, pertencente à classe de tratores agrícolas utilitários, teve variação de -4,37 a 5,89%, isto é, um espécime com 2,42 kW a mais e outro com 3,25 kW a menos de potência quando comparado com a informação especificada, respectivamente.

Essas variações de torque e potência encontradas no presente estudo podem ser explicadas pelo grande número de componentes periféricos presentes em um motor (bomba injetora de combustível, bomba d'água, ventilador, alternador, entre outros), que apenas são fornecidos, por diversos fabricantes, para o fabricante do motor, sendo que cada um desses componentes possuem um pequeno percentual de falhas ou defeitos. Apesar disso, os resultados encontram-se dentro de uma faixa aceitável de tolerância, que segundo os fabricantes de motores é de 5% para mais ou para menos.

O resumo da análise estatística (teste t de *Student*), para os resultados médios de torque do motor das duas amostras (especificado *versus* observado) são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da análise estatística (teste t de *Student*) das médias de duas amostras (especificado e observado) para a variável resposta torque do motor.

	<b>Especificado</b>	<b>Observado</b>
<b>Classe II</b>		
Torque médio (N.m)	205,37	210,23
Graus de liberdade	3	3
CV (%)	21,82	25,32
DP		5,67
Coef. de correlação de Pearson		0,998
pvalor		0,36
<b>Classe III</b>		
Torque médio (N.m)	272,11	294,74
Graus de liberdade	19	19
CV (%)	4,62	5,21
DP		16,0
Coef. de correlação de Pearson		0,606
pvalor		0,00000016
<b>Classe IV</b>		
Torque médio (N.m)	443	447,09
Graus de liberdade	11	11
CV (%)	13,89	16,16
DP		11,33
Coef. de correlação de Pearson		0,975
pvalor		0,456
<b>Classe V</b>		
Torque médio (N.m)	755,75	743,94
Graus de liberdade	3	3
CV (%)	14,92	15,32
DP		8,35
Coef. de correlação de Pearson		0,999
pvalor		0,004

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio padrão.

Analisando os resultados apresentados pela tabela 4, pode-se verificar que houve diferença entre os valores de torque especificados e observados para os tratores da Classe III e V. Essa diferença se comportou de maneira contrária para ambas as classes. Os valores médios de torque verificados para os motores dos tratores da Classe III foram superiores aos valores especificados pelos fabricantes, sendo 294,74 N.m e 272,11 N.m, respectivamente. Já para os tratores da Classe V os valores verificados foram 1,6% inferiores aos especificados. Por meio da figura 29 essas comparações podem ser facilmente visualizadas.

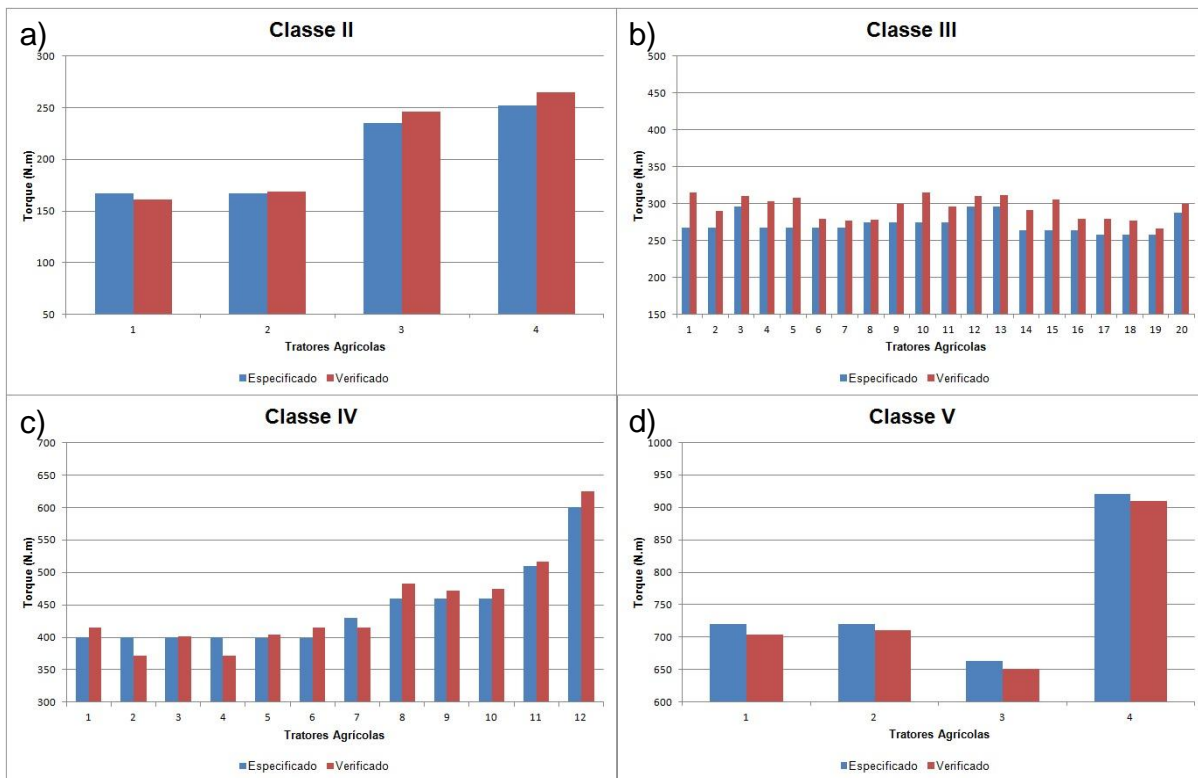


Figura 29 - Representação dos valores de torque do motor especificados pelo fabricante e observados por meio dos ensaios dinamométricos dos tratores agrícolas da Classe II (a); Classe III (b); Classe IV (c) e Classe V (d).

Essa série de dados proporciona a geração de informações acerca do desempenho dos tratores agrícolas avaliados, e confirma os dados fornecidos pelos fabricantes, visto que esses valores podem aceitar uma variação de 5% para mais ou para menos.

Verificou-se um maior valor de Desvio Padrão entre os dados especificados e verificados para os tratores da Classe III (16,0), devido a maior diferença que se obteve considerando as informações fornecidas pelo fabricante em relação aos resultados obtidos por meio dos ensaios em bancada dinamométrica.

Ainda ao analisar o coeficiente de correlação Linear de Pearson ( $r$ ) percebe-se que houve forte correlação positiva entre os valores de torque observados e especificados para as Classes II, IV e V, pois o  $r$  encontra-se entre 0,8 e 1,0. Essa forte correlação também pode ser observada por meio da tendência linear dos dados (Figura 29). Já para a Classe III essa correlação foi moderada positiva.

Ao analisar os resultados apresentados pela tabela 5, verifica-se que houve diferença estatística entre os valores especificados e observados de potência efetiva apenas para os tratores da Classe IV. Os valores médios de potência observados para os motores dos tratores da Classe IV foram 5,5% superiores aos valores especificados pelos fabricantes, sendo 90,04 kW e 85,32 kW, respectivamente.

Tabela 5 - Resumo das análises estatísticas (teste t de *Student*) das médias de duas amostras (especificado e observado) para a variável resposta potência efetiva.

(continua)

	Especificado	Observado
<b>Classe II</b>		
Potência efetiva média (kW)	42,29	40,33
Graus de liberdade	3	3
CV (%)	15,06	20,43
DP		1,39
Coef. de correlação de Pearson		0,996
pvalor		0,139
<b>Classe III</b>		
Potência efetiva média (kW)	56,10	55,71
Graus de liberdade	19	19
CV (%)	3,10	3,87
DP		1,32
Coef. de correlação de Pearson		0,191
pvalor		0,495

(conclusão)

	<b>Especificado</b>	<b>Observado</b>
<b>Classe IV</b>		
Potência efetiva média (kW)	85,32	90,04
Graus de liberdade	11	11
CV (%)	13,0	15,1
DP		3,77
Coef. de correlação de Pearson		0,957
pvalor		0,0033
<b>Classe V</b>		
Potência efetiva média (kW)	140,48	143,10
Graus de liberdade	3	3
CV (%)	8,67	11,12
DP		5,78
Coef. de correlação de Pearson		0,708
pvalor		0,674

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio padrão.

As comparações estabelecidas podem ser visualizadas por meio da figura 30, onde para os tratores pertencentes às Classes II e III foram obtidos valores observados bastante similares aos valores especificados, com desvio padrão de 1,39 e 1,32, respectivamente, porém sem haver diferença estatística.

Ao observar a figura 30d, nota-se que o trator número 1, modelo MF 7180, da Classe V, conta com um motor com potência efetiva bastante superior ao que é dito em sua especificação técnica, com 12,9% de diferença.

Esse resultado demonstra que tratores médios e grandes, com potência bruta do motor entre 73,5 e 183,9 kW (100 e 250 cv), possuem motores com maior nível tecnológico, visto que possuem maior exatidão no que se refere aos valores de potência efetiva, podendo esses ser igual ou maior aos disponibilizados pelos fabricantes. Verificou-se esse comportamento para os tratores das Classes IV e V.



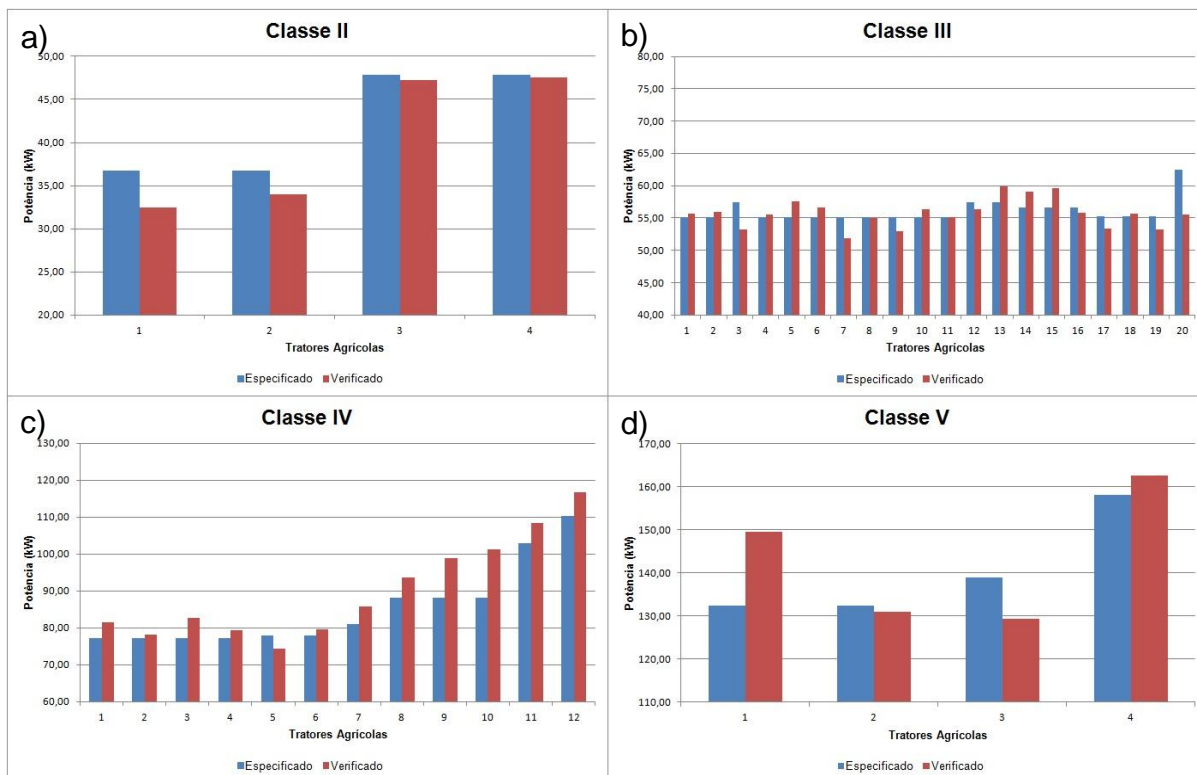


Figura 30 - Representação dos valores de potência efetiva especificados pelo fabricante e observados por meio dos ensaios dinamométricos dos tratores agrícolas da Classe II (a); Classe III (b); Classe IV (c) e Classe V (d).

Resultados semelhantes foram obtidos na Europa, onde para tratores enquadrados nas Classes IV e V foram encontrados incrementos na potência de 11,6% e 3,6%, respectivamente, quando comparado com as informações disponibilizadas pelos fabricantes. Contudo, para um trator pertencente à Classe II, encontrou-se 6,4% a menos de potência (OECD, 2003). Este estudo foi realizado em uma estação oficial de ensaio de tratores agrícolas, onde os ensaios são estabelecidos pelos códigos da OECD, que possibilitam a comparação de tratores por meio da utilização de uma norma comum (SILVEIRA e SIERRA, 2010).

#### 4.4.2 Reserva de torque

A partir dos dados coletados pôde-se calcular a reserva de torque dos motores avaliados. Ao analisar a figura 31, que correlaciona reserva de torque com a potência efetiva do motor, determinada a partir dos ensaios dinamométricos, primeiramente percebe-se que conforme aumenta a potência do motor, diminui sua reserva de torque. Isso pode ser explicado devido ao comprimento da biela dos motores maiores ser reduzida, em preferência ao maior diâmetro dos cilindros. Segundo Márquez (2005), uma transmissão do tipo câmbio em carga<sup>3</sup> poderia compensar a menor reserva de torque do motor desses tratores agrícolas.

Ainda ao observar a figura 31, em um segundo momento, percebe-se que, mesmo apresentando injeção de combustível do tipo mecânica, tratores com motores com potência efetiva entre 40 e 60 kW apresentam grande variação de reserva de torque, com valores entre 12,78% e 33,23%.

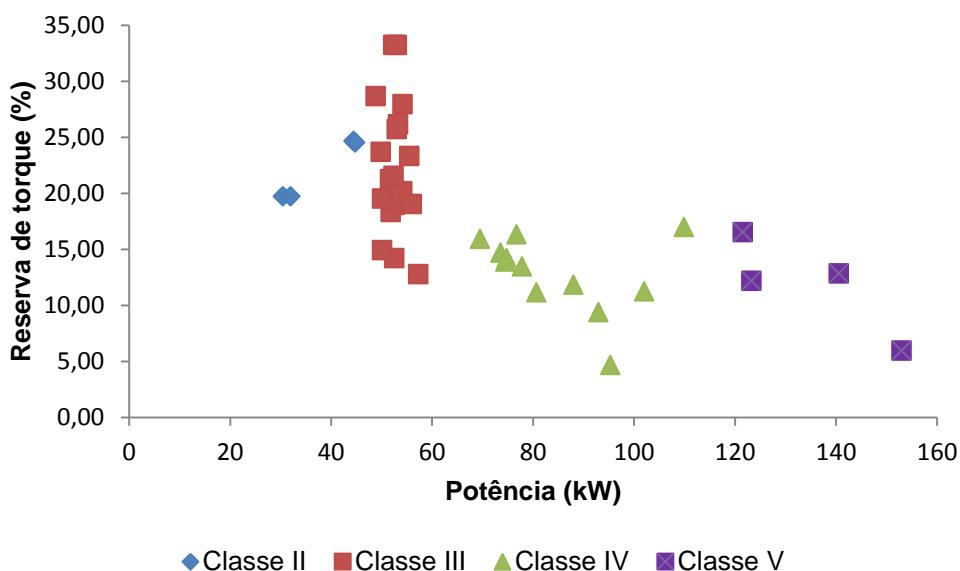


Figura 31 - Valores de reserva de torque em função da potência efetiva do motor dos tratores agrícolas avaliados.

<sup>3</sup> Transmissão câmbio em carga: É uma pequena caixa de câmbios com duas relações, situada a frente da caixa principal, que possibilita passar de uma marcha para outra sem interromper a transmissão de potência entre o motor e as rodas.

Essa grande amplitude de valores de reserva de torque pode ser explicada devido aos diferentes desenhos construtivos dos motores avaliados, tendo em vista que nessa faixa de potência encontra-se o maior número de marcas de motores (Simpson, Perkins, MWM *International*, AGCO Power John Deere e New Holland) e conseqüentemente, cada fabricante prioriza um determinado item em seus projetos.

A partir disso, pode-se inferir que os tratores referentes à faixa de potência efetiva de 40 a 60 kW, que possuem reserva de torque superior a 20%, suportam com maior facilidade uma sobrecarga durante uma determinada operação agrícola, sem haver necessidade de troca de marchas, quando comparado aos demais tratores, com reserva de torque inferior a 20%. Para esses tratores, haverá necessidade de se fazer trocas de marchas durante a operação, no momento em que a rotação do motor começa a diminuir a fim de evitar que o motor se apague.

Na figura 32 constata-se a amplitude de variação mínima e máxima de reserva de torque dos motores avaliados de todas as classes de potência. Percebe-se que as classes de potência III, IV e V possuem elevada amplitude, chegando à diferença de 160,0% entre a reserva de torque máxima e mínima. Novamente percebe-se a diminuição da reserva de torque média conforme o aumento da potência efetiva.

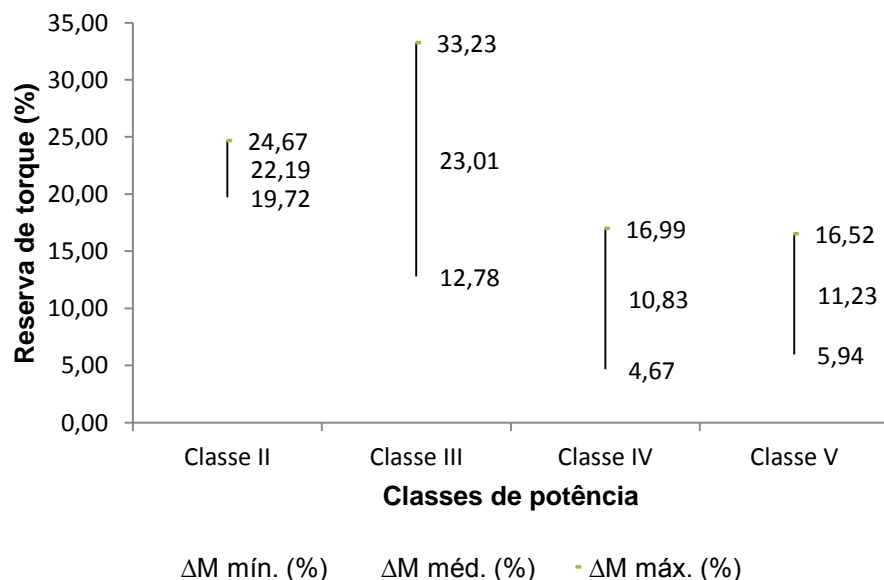


Figura 32 - Valores mínimos, médios e máximos de reserva de torque ( $\Delta M$ ) dos motores avaliados por classes de potência.

Na prática, este valor deveria ser consultado no momento da escolha de determinada marca ou modelo de trator agrícola, visto que valores maiores de reserva de torque indicam melhor desempenho da máquina, pois proporciona a diminuição da necessidade de constantes trocas de marchas e, conseqüentemente, o aumento da capacidade operacional (área trabalhada em função do tempo) do conjunto mecanizado.

#### 4.4.3 Tratores agrícolas enquadrados no programa Mais Alimentos

Ao analisar estatisticamente a interação entre os fatores marca e rotação do motor (Tabela 6), percebe-se que a mesma foi significativa. Sendo assim, o procedimento utilizado para a análise dos resultados foi o desdobramento do fator quantitativo (rotação) para cada um dos fatores qualitativos (marca) para as variáveis respostas (torque, potência efetiva e ruído).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância de torque (N.m), potência efetiva (kW) e ruído (dB) obtido a partir dos ensaios dinamométricos na TDP.

Fatores	Graus de Liberdade	Quadrados médios		
		Torque	Potência efetiva	Ruído
Marca	3	5428.75	193.57	26.54
Rotação	7	9025.69	391.46	63.55
Marca x Rotação	21	949.78	56.93	2.99
Erro	64	43.10	1.56	1.34
CV (%)		2,65	2,75	1,22

#### 4.4.3.1 Torque do motor

A partir dos resultados obtidos durante os ensaios dinamométricos, pode-se elaborar a tabela 7.

Tabela 7 - Análise de variância para a variável torque do motor.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	3	16286.24	5428.75	125.97
Rotação	7	63179.83	9025.69	209.43
Marca x Rotação	21	19945.49	949.78	22.04
Erro	64	2758.16	43.10	
<b>Total</b>	<b>95</b>	<b>102169.72</b>		
CV (%)	2,65			
Média geral	247.46			
Nº de observações	96			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

De acordo com Storck et al. (2004), não haveria necessidade da realização do teste de Tukey, pois houve interação entre os fatores, sendo assim apenas a regressão dos fatores quantitativos seria o suficiente. Porém devido à importância de se fazer uma comparação entre as quatro marcas avaliadas o teste foi realizado.

O teste de Tukey para a variável torque do motor em relação às marcas comerciais de tratores agrícolas (Tabela 8) mostrou que o resultado das médias para as quatro marcas avaliadas são diferentes entre si. A partir disso, permite-se afirmar que com relação a este parâmetro o trator da marca Valtra, modelo A750, foi superior aos demais.

Tabela 8 - Teste de Tukey para a variável torque.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultados do teste</b>
Valtra	262.97	a*
New Holland	256.55	b
John Deere	240.29	c
Massey Ferguson	230.03	d

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

As curvas de torque para os quatro modelos de tratores apresentaram comportamento semelhante. A figura 33 ilustra as curvas de torque características para cada modelo avaliado. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de torque do motor para cada rotação dos três tratores avaliados de cada modelo e, conseqüentemente, de cada marca comercial.

Observando a figura 33, em particular, a curva de torque do trator MF 4275, percebe-se que o ponto de corte do regulador da bomba injetora de combustível ocorre a uma rotação mais baixa do motor (2150 rpm) quando comparado com os demais modelos, onde esse ponto ocorre a 2300 rpm do motor. Isso explica o baixo valor de torque na rotação de aceleração máxima (2300 rpm). Cada fabricante determina em que rotação do motor haverá o ponto de corte do regulador, para que esta coincida com uma determinada potência efetiva do motor.

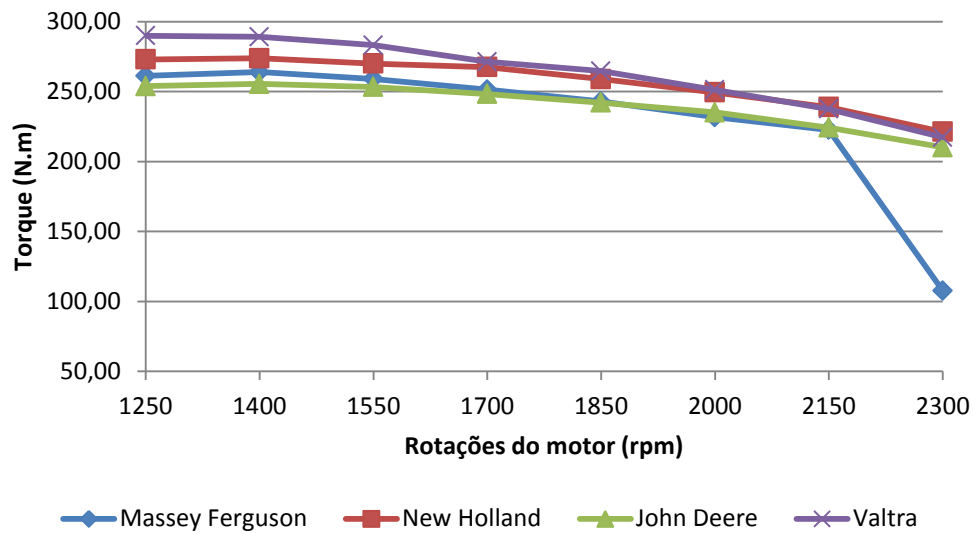


Figura 33 - Curvas de torque em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA.

Ainda, ao observar a figura 33 percebe-se que os tratores Valtra atingem torque máximo médio de 289,91 N.m a uma rotação do motor de 1250 rpm, enquanto que os demais tratores esse valor é alcançado a 1400 rpm, sendo 273,71 N.m, 263,94 N.m e 255,46 N.m para os tratores New Holland, Massey Ferguson e John Deere, respectivamente.

A análise de regressão das rotações do motor dentro de cada marca se precedeu pelo fato da interação ser significativa. Essa análise é representada por uma curva de segundo grau (Figura 34), devido ao padrão polinomial das curvas características de torque do motor. As curvas de tendência foram realizadas por meio do programa informático Microsoft Excel<sup>®</sup>, e são representadas pela figura 34.

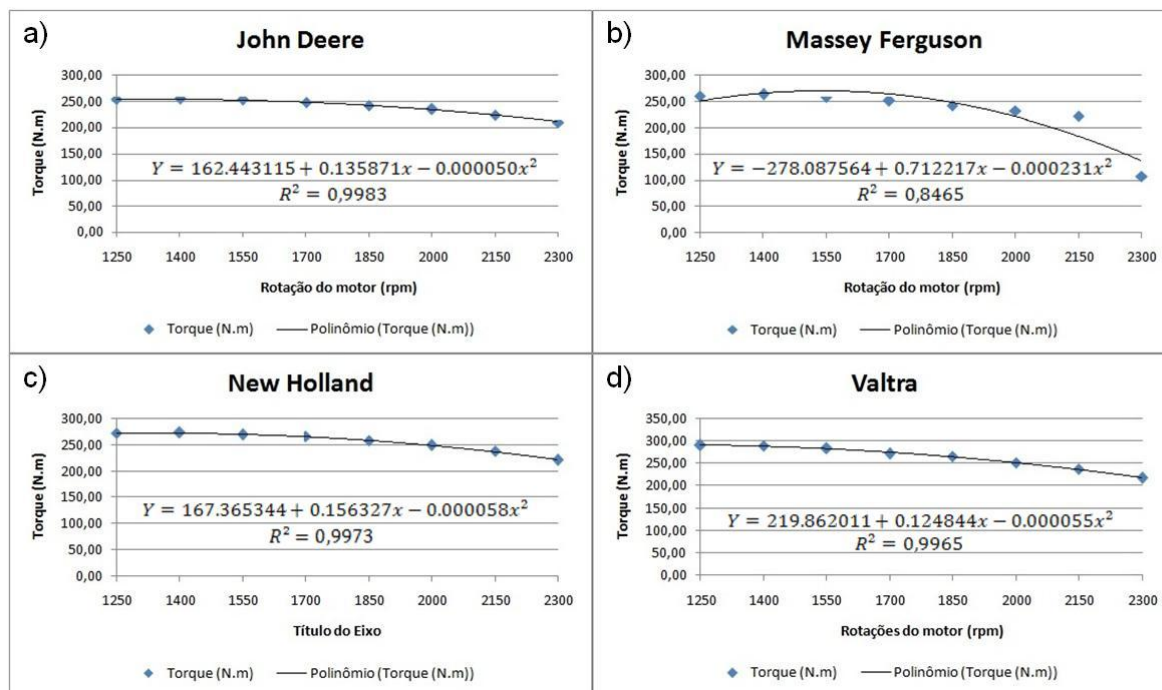


Figura 34 - Curvas de tendência de torque do motor dos modelos de tratores agrícolas 5078E (a), MF 4275 (b), TL 75E (c) e VT A750 (d), comercializados por meio do programa Mais Alimentos.

Devido ao ponto de corte de ação do regulador da bomba injetora do trator MF 4275 ser a uma rotação mais baixa, o comportamento da curva de torque do motor que equipa esse trator possui ajuste inferior quando comparado com os demais. Se o valor de torque a 2300 rpm do motor for eliminado, o coeficiente de determinação ajustado passa a assumir o valor de 0,9882, semelhante aos demais.

Na tabela 9 está apresentado um resumo das constantes que deram origem ao modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor para os tratores agrícolas avaliados. A partir dela pode-se observar que as curvas de torque dos tratores John Deere, New Holland e Valtra possuem excelente ajuste, pois apresentam boa qualidade do ajustamento dos dados a equação, devido aos elevados valores dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2$ ).



Tabela 9 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor para as quatro marcas avaliadas.

<b>Marca</b>	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>
John Deere	162.44	0.13	-0.000050	99,83
Massey Ferguson	-278.09	0.71	-0.000231	84,65
New Holland	167.36	0.16	-0.000058	99,73
Valtra	219.86	0.12	-0.000055	99,65

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

#### 4.4.3.2 Potência efetiva

A partir dos resultados obtidos durante os ensaios dinamométricos, pode-se elaborar a tabela 10.

Tabela 10 - Análise de variância para a variável potência efetiva.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	3	580.72	193.57	124.17
Rotação	7	2740.25	391.46	251.12
Marca x Rotação	21	1195.65	56.93	36.52
Erro	64	99.77	1.56	
Total	95	4616.40		
CV (%)	2,75			
Média geral	45,46			
Nº de observações	96			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

O teste de Tukey para a variável potência efetiva em relação às marcas avaliadas (Tabela 11) mostrou que o modelo TL 75E da marca New Holland foi superior aos demais, exceto do modelo A750 da Valtra. O modelo MF 4275 da

marca Massey Ferguson possui o menor valor médio de potência efetiva, diferindo significativamente dos demais.

Tabela 11 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultados do teste</b>
New Holland	47.92	a*
Valtra	47.72	a
John Deere	44.07	b
Massey Ferguson	42.13	c

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

As curvas de potência efetiva para os quatro modelos de tratores apresentaram comportamento similar. Na figura 35 encontram-se as curvas características de potência efetiva para cada modelo avaliado. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de potência para cada rotação dos três tratores avaliados de cada modelo.

Ao analisar a figura 35, em particular, a curva de potência efetiva do trator MF 4275, percebe-se, novamente, que o ponto de corte do regulador da bomba injetora de combustível interfere no comportamento da curva. Como esse motor possui uma rotação máxima de 2300 rpm, o ponto de corte do governador também ocorre a uma rotação mais baixa (2150 rpm), fazendo com que no início do ensaio o motor não alcance elevados valores de potência efetiva.

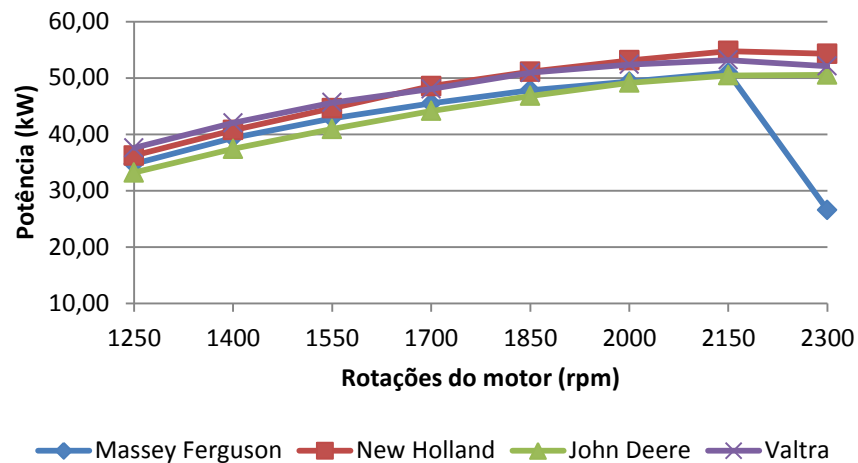


Figura 35 - Curvas de potência efetiva em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA.

Observando a figura 35 nota-se que os tratores da marca John Deere atingem potência efetiva máxima média de 50,56 kW a uma rotação mais elevada do motor (2300 rpm), enquanto que os demais tratores esse valor é alcançado a uma rotação mais baixa (2150 rpm).

O modelo TL 75E da marca New Holland, seguido do Valtra A750 e do Massey Ferguson MF 4275 foram os que obtiveram os maiores valores de potência, 54,76 kW; 53,16 kW e 50,93 kW, respectivamente.

Novamente a análise de regressão das rotações do motor dentro de cada marca se precedeu pelo fato de a interação ser significativa. Essa análise é representada por uma curva de segundo grau (Figura 36), devido ao padrão polinomial das curvas características de potência efetiva. As curvas de tendência para os quatro tratores avaliados são apresentadas na figura 36.

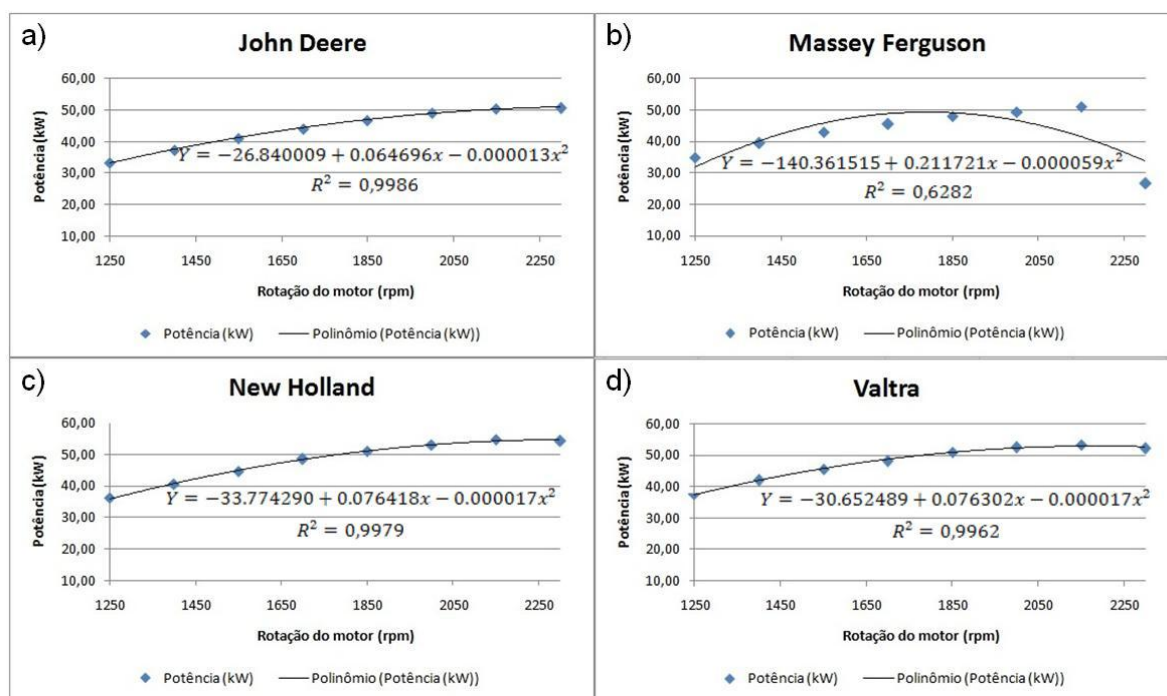


Figura 36 - Curvas de tendência de potência efetiva para os tratores agrícolas avaliados: John Deere 5078E (a), Massey Ferguson MF 4275 (b), New Holland TL 75E (c) e Valtra A750 (d).

Devido ao ponto de corte de ação do regulador da bomba injetora do trator MF 4275 ser a uma rotação mais baixa, o comportamento da curva de torque do motor que equipa esse trator possui menor ajuste quando comparado com os demais. Na tabela 12 encontram-se os valores das constantes que deram origem ao modelo matemático de melhor ajuste das curvas de tendência de potência efetiva.

Tabela 12 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de potência efetiva para as quatro marcas avaliadas.

Marca	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> (%)
John Deere	-26.84	0.06	-0.000013	99,86
Massey Ferguson	-140.36	0.21	-0.000059	62,82
New Holland	-33.77	0.08	-0.000017	99,79
Valtra	-30.65	0.08	-0.000017	99,62

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

#### 4.4.3.3 Ruído

A partir dos resultados obtidos durante os ensaios dinamométricos, pode-se elaborar a tabela 13.

Tabela 13 - Análise de variância para a variável ruído.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	3	79.61	26.54	19.79
Rotação	7	444.86	63.55	47.39
Marca x Rotação	21	62.86	2.99	2.23
Erro	64	85.82	1.34	
Total	95			
CV (%)	1,22			
Média geral	94.82			
Nº de observações	96			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

Assim como para as demais variáveis analisadas, também se realizou o teste de Tukey para a variável ruído em relação às marcas avaliadas (Tabela 14).

A partir dos resultados apresentados na tabela 14, pode-se afirmar que o modelo TL 75E da marca New Holland apresentou o maior valor médio de ruído emitido pelo motor, diferindo dos demais modelos avaliados. Esse maior valor está relacionado diretamente com a potência efetiva máxima que este motor desempenhou, visto que este modelo também apresentou a maior potência efetiva, quando comparado com os demais.

Em segundo lugar, os motores que equipam os modelos MF 4275 e 5078E foram os que emitiram maior ruído. Seguindo o raciocínio anterior, percebe-se que estes motores possuem menor tecnologia no que diz respeito ao nível de ruído que

emite. Por fim, o motor dos tratores A750 da Valtra e 5078E da John Deere, foram os que emitiram o menor nível de ruído.

Tabela 14 - Teste de Tukey para a variável ruído.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultados do teste</b>
New Holland	96.20	a*
Massey Ferguson	94.97	b
John Deere	94.36	b c
Valtra	93.74	c

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na figura 37 observa-se o comportamento da potência efetiva e do nível de ruído em função da rotação do motor, e corrobora com o exposto acima, evidenciando a alta correlação entre potência efetiva máxima e máximo nível de ruído emitido pelo motor. Esta correlação é válida para todos os modelos de tratores agrícolas avaliados.

Gonçalves et al. (2011) ao avaliarem o nível de ruído no posto do operador em 26 tratores agrícolas novos comercializados por meio do programa Mais Alimentos concluíram que todos emitem ruído acima do nível permitido para um trabalho diário de 8h. Ainda segundo os autores, na rotação de aceleração máxima do motor sem carga foram obtidos os maiores valores, sendo 94, 92 e 91dB para os modelos TL 75E, A750, MF 4275, respectivamente.

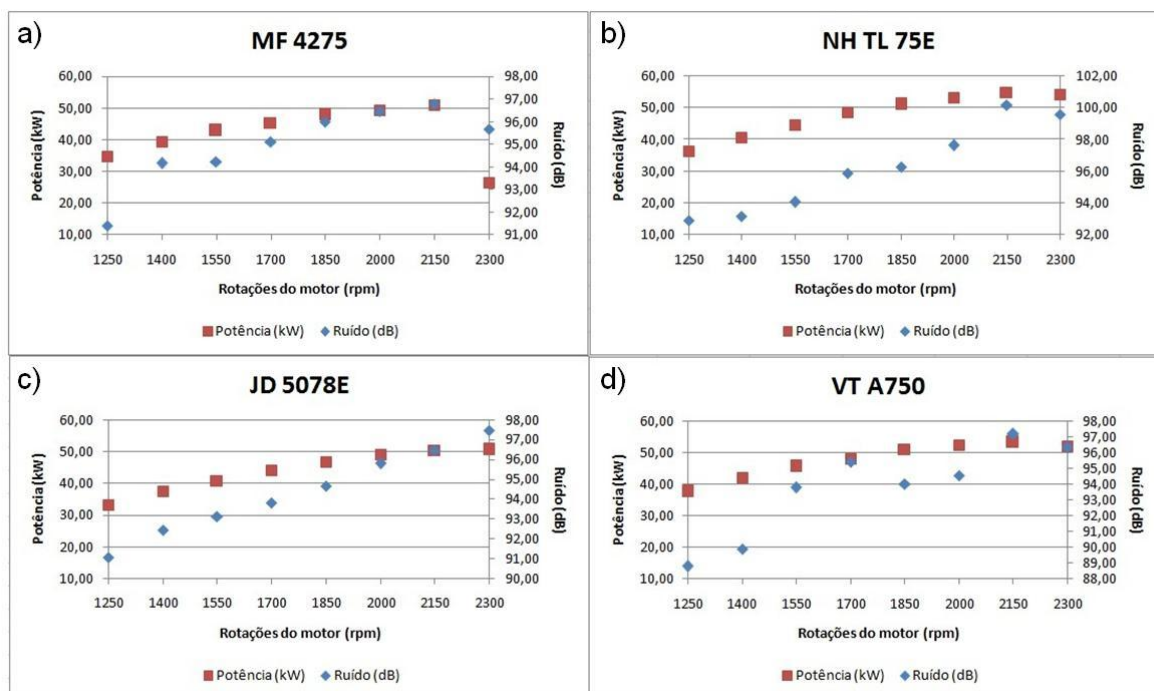


Figura 37 - Curvas de potência e ruído em função da rotação do motor do modelo MF 4275 (a), TL 75E (b), 5078E (c) e A750 (d).

As curvas de ruído para os quatro modelos de tratores apresentaram comportamento similar. Na figura 38 observam-se as curvas de ruído para cada modelo avaliado. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de ruído para cada rotação dos três tratores avaliados de cada modelo.

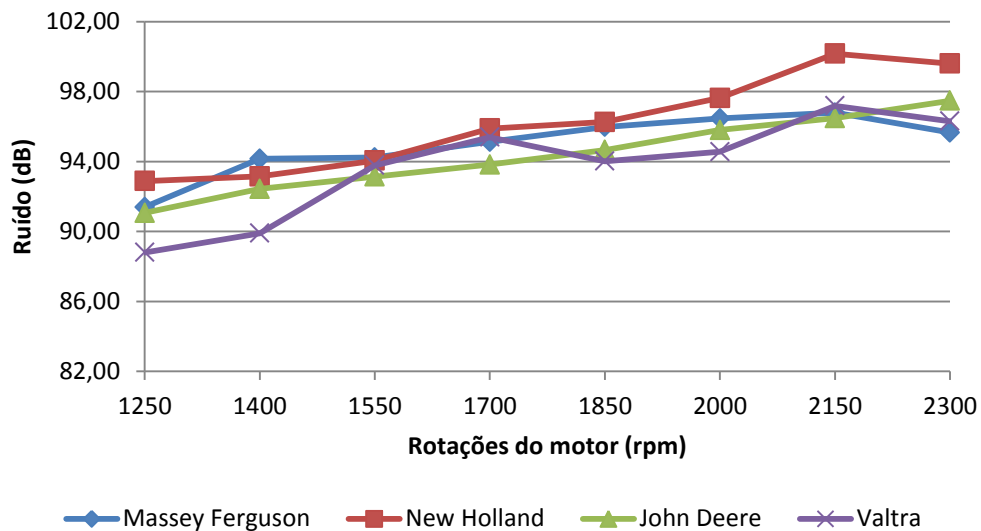


Figura 38 - Curvas de ruído em função da rotação do motor dos quatro modelos de tratores agrícolas enquadrados no programa MA.

O maior nível de ruído emitido verificado ocorreu, em ordem decrescente, para o modelo TL 75E da marca New Holland, seguido do John Deere 5078E, Valtra A750 e do Massey Ferguson MF 4275, onde foram obtidos os seguintes valores: 100,17dB; 97,48dB; 97,18dB e 96,79dB, respectivamente.

Esses valores de ruído foram obtidos exatamente na mesma rotação de potência efetiva máxima do motor, ou seja, a 2150 rpm para os tratores da marca New Holland, Valtra e Massey Ferguson. Já o modelo 5078E da John Deere obteve o máximo ruído a 2300 rpm do motor.

Em acordo com o trabalho realizado, Alves et al. (2011), ao avaliar o nível de ruído emitido pelo motor de um trator da marca Valtra, modelo 785, com potência de 55,2 kW (75 cv), concluíram que o ruído aumenta em função do aumento da rotação livre do motor, e o nível máximo alcançado foi de 96,90 dB a 2500 rpm do motor.

Desta forma, o tempo equivalente de trabalho a que o operador pode ficar exposto ao ruído, sem a utilização de protetor auricular conforme a norma NR-15 conforme Brasil (2011) é de, no máximo quatro horas e 30 minutos.

Na tabela 15 estão apresentados os valores das constantes que deram origem ao modelo matemático de melhor ajuste das curvas de tendência de ruído e dos coeficientes de determinação ajustado.



Tabela 15 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de ruído para as quatro marcas avaliadas.

<b>Marca</b>	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>
John Deere	83.51	0.01	-0.0000001	99,43
Massey Ferguson	65.97	0.03	-0.0000007	93,34
New Holland	86.99	0.00	0.0000001	95,41
Valtra	57.64	0.03	-0.0000008	87,13

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

#### 4.4.4 Motores: Perkins *versus* MWM *International*

##### 4.4.4.1 Torque e potência efetiva do motor

Como não houve interação entre os fatores (Marca x Rotação) e, considerando-se o que relatam Storck et al. (2004), realizou-se uma comparação entre as duas marcas de motores avaliadas por meio do teste de Tukey e uma regressão para o fator rotações do motor para as variáveis torque e potência efetiva (Tabelas 16 e 17).

Tabela 16 - Análise de variância para a variável torque do motor.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	1	2982.74	2982.74	5.74
Rotação	7	98874.29	14124.90	27.17
Marca x Rotação	7	512.39	73.20	0.14
Erro	32	16635.14	519.85	
Total	47	119004.56		
CV (%)		9,58		

(continua)

(conclusão)

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Média geral	238.01			
Nº de observações	48			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

Tabela 17 - Análise de variância para a variável potência efetiva.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	1	67.64	67.64	2.41
Rotação	7	2151.27	307.32	10.94
Marca x Rotação	7	38.27	5.47	0.19
Erro	32	898.89	28.09	
Total	47	3156.07		
CV (%)	12,18			
Média geral	43.53			
Nº de observações	48			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

O teste de Tukey para as variáveis torque e potência efetiva em relação às marcas de motores (Tabelas 18 e 19) mostrou que o resultado das médias para as duas marcas avaliadas diferem estatisticamente entre si. A partir disso, permite-se afirmar que com relação a estes parâmetros, o motor Perkins foi superior significativamente ao motor MWM *International*.

Tabela 18 - Teste de Tukey para a variável torque.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultados do teste</b>
Perkins	245.89	a*
MWM <i>International</i>	230.12	b

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 19 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Perkins	44.71	a*
MWM <i>International</i>	42.34	a

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

A partir dos ensaios dinamométricos realizados, o motor Perkins gera uma potência efetiva maior, porém esse valor não é o suficiente para causar uma diferença em relação ao motor MWM *International*.

Na figura 39 encontram-se as curvas características de torque e potência efetiva para cada motor avaliado. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de torque do motor para cada rotação dos seis tratores, sendo três com motor Perkins e os outros três tratores equipados com motor MWM *International*.

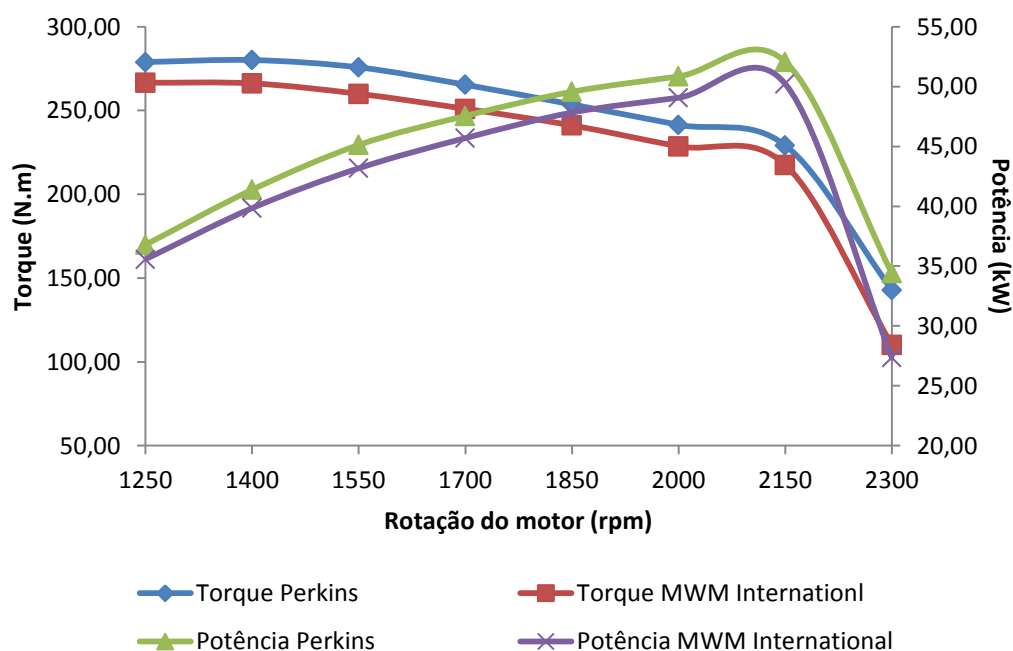


Figura 39 - Curvas de torque e potência efetiva em função da rotação do motor das duas marcas de motores agrícolas avaliadas.

Ao observar as curvas de torque e potência efetiva para os motores avaliados, percebe-se elevada similaridade entre as duas, porém com a superioridade do motor Perkins em relação ao motor MWM *International* em todas as rotações do motor.

Apesar de ter existido, no passado, uma relação entre essas duas marcas de motores agrícolas, atualmente as empresas MWM *International* e Perkins não possuem ligação, são diferentes e concorrentes no mercado.

#### 4.4.4.2 Ruído

Os resultados obtidos durante a condução dos ensaios dinamométricos podem ser observados na tabela 20.

Tabela 20 - Análise de variância para a variável ruído.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Marca	1	8.11	8.11	12.58
Rotação	7	147.14	21.02	32.61
Marca x Rotação	7	2.98	0.42	0.66
Erro	32	20.62	0.64	
<b>Total</b>	<b>47</b>			
CV (%)	0,85			
Média geral	94.15			
Nº de observações	48			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

Assim como para as demais variáveis estudadas, não houve interação entre os dois fatores analisados (Marca x Rotação). A partir disso, realizou-se uma regressão para o fator Rotação e um teste de médias para o fator Marca.

O teste de Tukey para a variável ruído em relação às marcas avaliadas (Tabela 21) apontou que, o motor MWM *International* emitiu um maior nível de ruído quando comparado ao motor Perkins. Essa diferença foi estatisticamente significativa.

Tabela 21 - Teste de Tukey para a variável ruído.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
MWM <i>International</i>	94.56	a*
Perkins	93.74	b

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

As constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de ruído para as duas marcas de motores avaliadas e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) foram calculados por meio do *Software* SISVAR e são apresentados na figura 40.

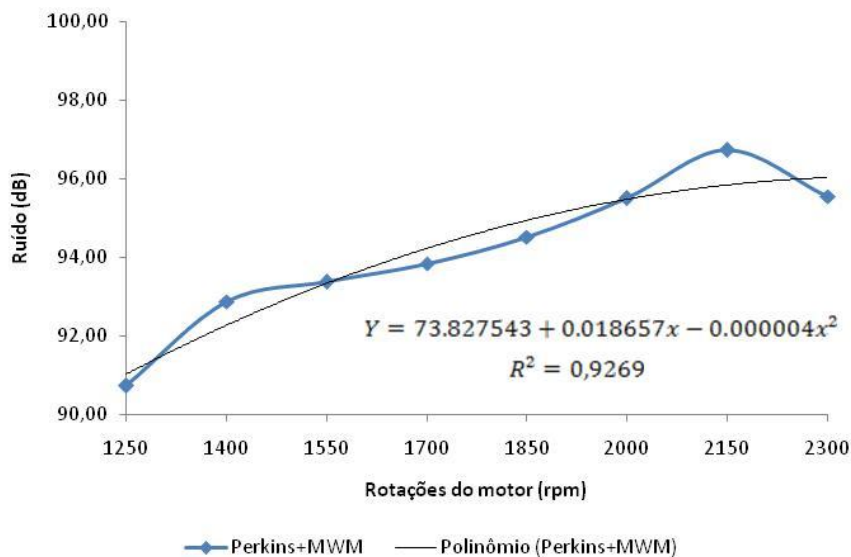


Figura 40 - Curva de tendência de ruído para os motores Perkins e MWM *International*.

As curvas de ruído para as duas marcas de motores agrícolas apresentaram o mesmo comportamento. A figura 41 ilustra as curvas de ruído características para cada modelo avaliado. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de ruído para cada rotação dos seis tratores agrícolas ensaiados (três com motor Perkins e três com motor MWM *International*).

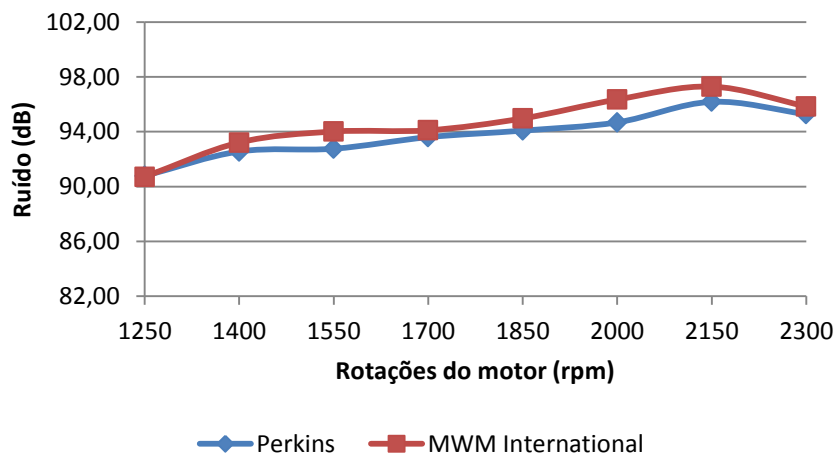


Figura 41 - Curvas de ruído em função da rotação do motor das duas marcas de motores avaliadas.

Ao observar as curvas do nível de ruído emitido pelos dois motores avaliados, percebe-se uma similaridade muito grande entre as duas curvas. Percebe-se que o pico máximo de ruído emitido por ambos os motores ocorre próximo a rotação de potência máxima, isto é, ao redor de 2150 rpm do motor.

Avaliando o nível de ruído emitido por um trator agrícola sem cabine, em condições estática e dinâmica, Alves et al. (2011) observaram que o aumento da rotação do motor do trator promove um incremento linear no nível de ruído, sendo que, a partir de 1000 rpm, há necessidade do uso de proteção auricular.

A figura 42 ilustra a relação existente entre a potência efetiva do motor e o nível de ruído emitido pelo mesmo, e corrobora com o exposto acima, evidenciando a alta correlação entre potência efetiva máxima e máximo nível de ruído emitido pelo motor. Esta correlação é válida para ambas as marcas de motores agrícolas avaliados.

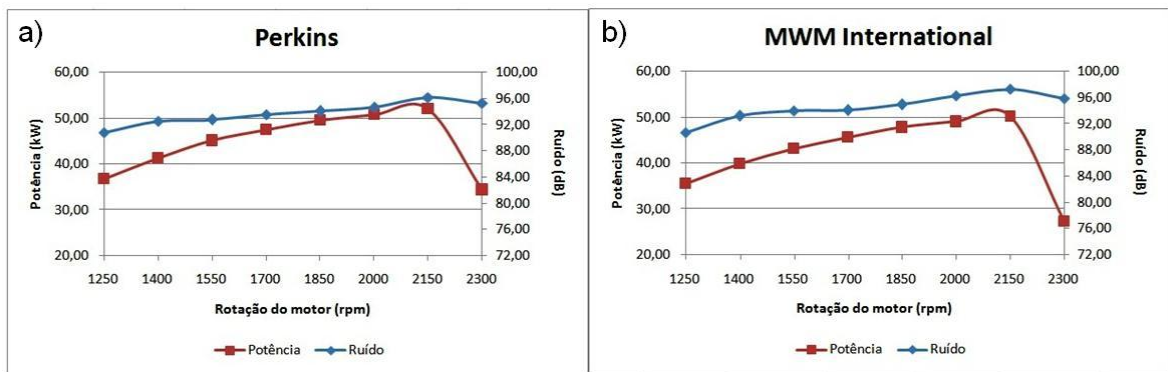


Figura 42 - Curvas de potência e ruído em função da rotação do motor Perkins (a) e MWM *International* (b).

#### 4.4.5 Motores sobre alimentados por turbo compressor

Ao analisar estatisticamente a interação entre os fatores configurações e rotações do motor (Tabela 22), percebe-se que a mesma foi significativa.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância de torque (N.m), potência efetiva (kW) e ruído (dB) obtido a partir dos ensaios dinamométricos na TDP.

Fatores	Graus de Liberdade	Quadrados médios		
		Torque	Potência efetiva	Ruído
Configuração	2	40164.22	1093.91	113.67
Rotação	7	80530.01	2576.30	17.17
Conf. x Rot.	14	1130.45	42.44	2.79
Erro	48	2.09	0.11	0.62
CV (%)		0,57	0,73	0,95

## 4.4.5.1 Torque do motor

De acordo com Storck et al. (2004), não haveria necessidade da realização do teste de Tukey, pois houve interação entre os fatores, sendo assim apenas a regressão dos fatores quantitativos seria o suficiente (Tabela 23). Porém devido à importância de se fazer uma comparação entre as três configurações do motor o teste foi realizado.

Tabela 23 - Análise de variância para a variável torque do motor.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Configuração	2	80328.44	40164.22	19206.81
Rotação	7	563710.10	80530.01	38510.02
Conf. x Rot.	14	15826.25	1130.45	540.59
Erro	48	100.37	2.09	
Total	71	659965.17		
CV (%)	0,57			
Média geral	253.53			
Nº de obs.	72			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

O teste de Tukey para a variável torque do motor em relação às configurações do mesmo (Tabela 24) mostrou que o resultado das médias para as três condições avaliadas foram diferentes. A partir disso, permite-se afirmar que o motor quando equipado com turbo compressor e com nova regulagem da bomba injetora alcançou valores de torque superiores às demais condições. Assim como para a configuração com turbo e sem turbo esses valores diferiram entre si, sendo a primeira condição superior em relação à segunda.



Tabela 24 - Teste de Tukey para a variável torque.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Com Turbo + Conf. Bomba	300.69	a*
Com turbo	232.36	b
Sem turbo	227.55	c

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

As curvas de torque para as três configurações de motor avaliadas apresentaram comportamentos similares. Na figura 43 observam-se as curvas de torque características para cada condição avaliada. Estas foram traçadas a partir da média dos valores de torque para cada rotação das três repetições realizadas.

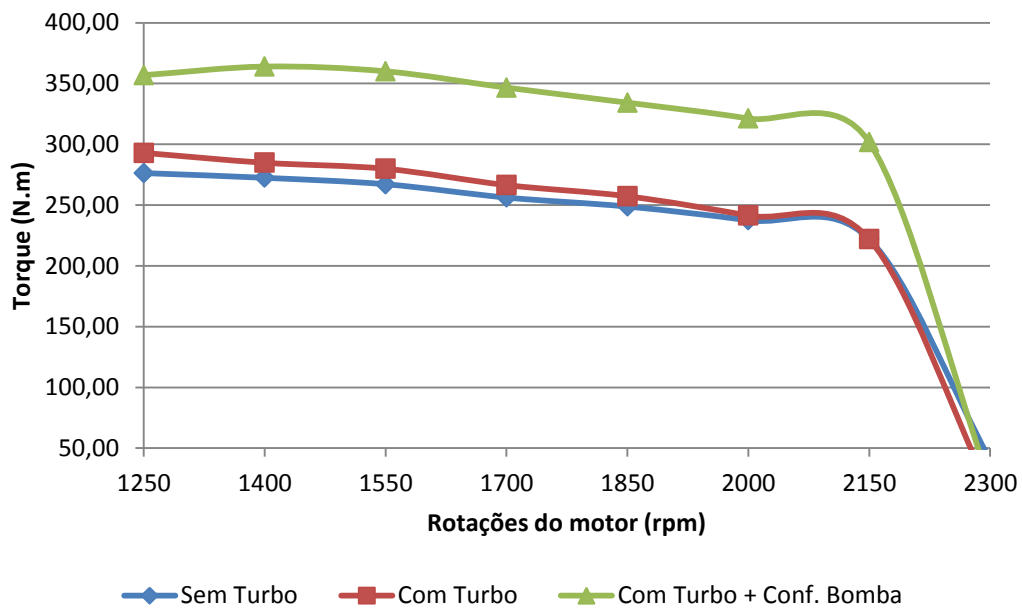


Figura 43 - Curvas de torque em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.

Analisando a figura 43 percebe-se uma significativa elevação dos valores de torque do motor para todas as rotações, alcançando 363,93 N.m a 1400 rpm. Esse

valor corresponde a um incremento de torque de 31,7% em relação ao motor na sua configuração original (aspiração natural). Porém quando comparamos os valores de torque do motor com e sem turbo compressor, essa diferença diminui para 6%. Nota-se ainda, uma maior diferença de torque a baixas rotações do motor (abaixo de 1400 rpm), alcançando 292,91 e 276,31 N.m de torque máximo para o motor com turbo e sem turbo, respectivamente ambos a 1250 rpm.

Percebe-se também, ao analisar a rotação de 1250 rpm, a diminuição do torque do motor com turbo compressor e com nova regulagem da bomba injetora, onde o torque máximo é obtido a 1400 rpm, ao contrário das outras duas configurações, onde o valor de torque máximo é obtido a 1250 rpm.

Em estudos similares, Karabektas (2008) ao comparar um motor com e sem turbo, encontrou um incremento de 16,8% com a adição de turbo compressor, com uma condição de pressão do turbo de 0,4 bar. Já Sims et al. (1990), observaram aumento de 4,0% de torque do motor depois de realizada a regulagem da bomba injetora em relação ao motor original. Depois de adicionado o turbo compressor esse aumento foi de 18%.

A reserva de torque teve um aumento de 30,6% ao passar da configuração sem turbo (18,3%) para a configuração com turbo (23,9%). Já para a configuração com turbo compressor mais regulagem da bomba injetora passou para 20,6%, isto é, teve um incremento de 12,6% quando comparado com a configuração do motor original (aspiração natural).

A análise de regressão das rotações do motor dentro de cada configuração se precedeu pelo fato da interação entre esses dois fatores ser significativa. Essa análise é representada por uma curva de segundo grau (Figura 44), devido ao padrão polinomial das curvas características de torque do motor.

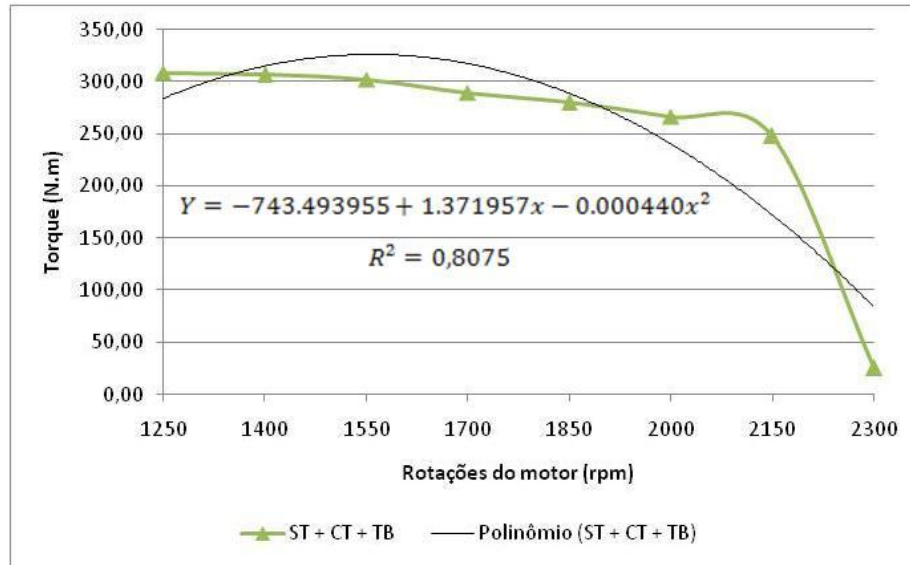


Figura 44 - Curva de tendência de torque para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB).

A tabela 25 apresenta um resumo das constantes que deram origem ao modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor e o  $R^2$  para cada uma das três configurações avaliadas.

Tabela 25 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da curva de torque do motor para as configurações avaliadas.

Configurações	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> (%)
Sem turbo	-555.77	1.09	-0.000351	80,93
Com turbo	-653.21	1.24	-0.000403	82,19
Com turbo + Conf. Bomba	-1021.50	1.79	-0.000566	79,46

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

## 4.4.5.2 Potência efetiva

A partir dos resultados obtidos durante a condução dos ensaios dinamométricos, realizou-se a análise de variância (Tabela 26).

Tabela 26 - Análise de variância para a variável potência efetiva.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Configuração	2	2187.82	1093.91	9807.80
Rotação	7	18034.11	2576.30	23098.65
Conf. x Rot.	14	594.21	42.44	380.54
Erro	48	5.35	0.11	
Total	71	20821.49		
CV (%)	0,73			
Média geral	45.74			
Nº de obs.	72			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

O teste de comparação de médias para a variável potência efetiva em relação às configurações do motor (Tabela 27) mostrou que o resultado das médias para as três condições avaliadas diferem estatisticamente entre si. Assim como para a variável torque, o motor na configuração com turbo compressor mais regulagem da bomba injetora apresentou valores de potência efetiva superiores aos demais, sendo o motor sem turbo compressor o tratamento que obteve menor potência efetiva. Devido ao conhecimento obtido por meio de leituras de bibliografias específicas sobre o assunto, esse resultado já era esperado, porém como já foi mencionado anteriormente, o objetivo deste experimento foi justamente avaliar a significância entre esses dois tratamentos (com e sem turbo compressor).

Tabela 27 - Teste de Tukey para a variável potência efetiva.

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Com Turbo + Conf. Bomba	53.53	a*
Com turbo	42.10	b
Sem turbo	41.59	c

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

As curvas de potência efetiva para as três configurações de motor avaliadas apresentaram comportamentos similares (Figura 45).

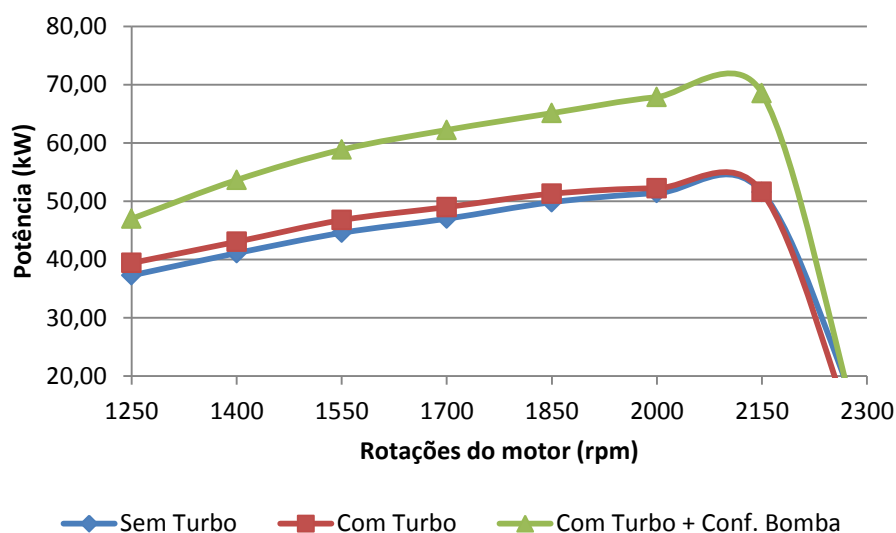


Figura 45 - Curvas de potência efetiva em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.

Assim como para o torque, novamente percebe-se o incremento muito significativo de potência efetiva (32,9%), quando comparado com o mesmo motor, porém sem a presença do turbo compressor, alcançando 68,53 kW (93,2 cv) a 2150 rpm. Levando-se em consideração que foi uma situação real, o tempo de vida útil desse motor pode ser reduzido, visto que sua estrutura pode não suportar tamanho torque e potência ao longo de sua utilização.

Esse aumento de potência só é obtido porque o ar que é admitido pelos cilindros está comprimido e com isso uma maior quantidade de combustível pôde ser injetada dentro dos cilindros. Este é um motivo pelo qual ao se adicionar um turbo compressor em um motor agrícola também se deve regular sua bomba injetora de combustível.

Segundo Imperial (1980), se a regulagem da bomba injetora não for alterada quando da instalação do turbo compressor, é possível reduzir o consumo específico de combustível em até 20%.

Quando se compara valores de potência efetiva com e sem turbo compressor, essa diferença não é expressiva. Nota-se novamente, uma maior diferença de potência efetiva entre as rotações intermediárias e baixas do motor, inferiores a 1700 rpm. Essa maior diferença para as rotações mais baixas do motor deve-se devido à maior diferença entre os valores de torque para, praticamente, as mesmas rotações, visto que a potência efetiva depende diretamente do valor de torque e da sua respectiva rotação (equação matemática 2, item 2.4.3).

O valor de potência efetiva máxima foi de 52,21 kW (71,0 cv) a 2000 rpm para a condição de motor com turbo e 51,56 kW (70,12 cv) a 2150 rpm para o motor sem turbo. Com base em seus estudos, Márquez (2012), afirma que um motor agrícola ao funcionar com turbo compressor com uma pressão média de 1,6 bar, pode ter um incremento de até 15% de potência em relação a um motor com aspiração natural.

Esse experimento não foi verificado, visto que o motor operando com o turbo compressor obteve aumento de apenas 1,26% de potência em relação ao mesmo motor, porém sem turbo. A partir disso, podem-se inferir algumas possíveis causas para a situação: baixa pressão do turbo compressor e/ou super dimensionamento do turbo compressor para esse modelo de motor.

Além disso, esse experimento evidencia a importância da regulagem da bomba injetora logo após a adição do turbo compressor no motor, pois ao levar em consideração que o ar que será admitido pelos cilindros está mais comprimido, pode-se aumentar a quantidade de combustível injetada dentro dos cilindros até um determinado limite.

Avaliando a adição de turbo compressor e a regulagem da bomba injetora de combustível em um motor de aspiração natural com 63,1 kW de potência, Sims et al. (1990) observaram que depois do serviço realizado na bomba injetora o motor

alcançou 65,9 kW, e depois da adição do turbo compressor 77,1 kW, isto é, um incremento de 22,2% em relação a condição original.

A análise de regressão das rotações do motor dentro de cada configuração é representada por uma curva de segundo grau (Figura 46), devido ao padrão polinomial das curvas características de potência efetiva.

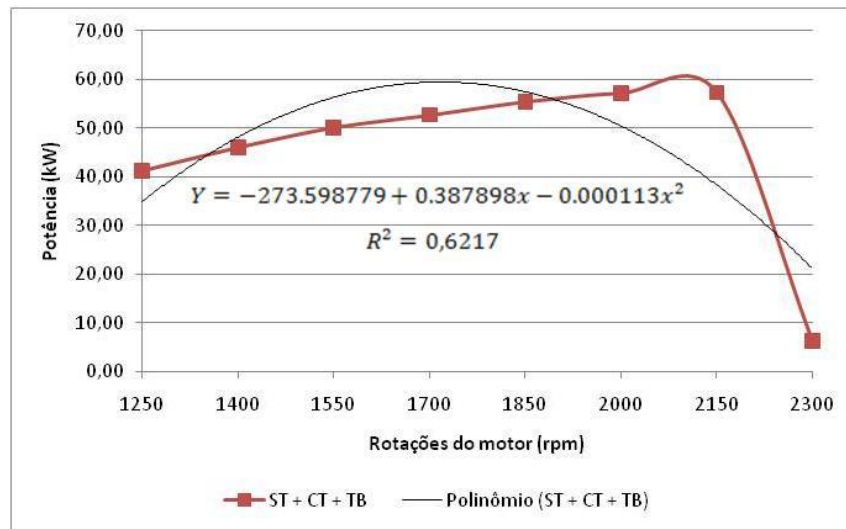


Figura 46 - Curva de tendência de potência para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB).

As constantes do modelo matemático e o  $R^2$  para cada uma das configurações do motor avaliadas são apresentadas na tabela 28.

Tabela 28 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste da potência efetiva para as configurações avaliadas.

Configurações	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> (%)
Sem turbo	-221.50	0.32	-0.000092	60,81
Com turbo	-254.31	0.36	-0.000107	64,16
Com turbo + Conf. Bomba	-344.98	0.48	-0.000140	61,63

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

## 4.4.5.3 Ruído

Por meio da tabela 29 observam-se os resultados obtidos durante os ensaios.

Tabela 29 - Análise de variância para a variável ruído.

<b>Fatores</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Configuração	2	227.34	113.67	181.59
Rotação	7	120.17	17.17	27.42
Conf. x Rot.	14	39.06	2.79	4.46
Erro	48	30.05	0.62	
Total	71	416.61		
CV (%)	0,95			
Média geral	83.37			
Nº de obs.	72			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma de quadrados; QM – Quadrado médio; Fc – F calculado.

O teste de comparação de médias para a variável ruído em relação às configurações do motor (Tabela 30) mostrou que o resultado das médias para as três condições avaliadas diferem entre si. O nível de ruído emitido pelo motor na configuração com turbo compressor mais regulagem da bomba injetora foi superior aos demais, sendo a configuração do motor sem turbo a mais silenciosa.

Tabela 30 - Teste de Tukey para a variável ruído.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>	<b>Resultados do teste</b>
Com Turbo + Conf. Bomba	85.63	a*
Com turbo	83.19	b
Sem turbo	81.29	c

\*Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.



Esse resultado pode ser explicado pelo fato do motor na presença do turbo compressor trabalhar sob uma carga maior (maior exigência), o que promove maior nível de ruído emitido e, nesse caso durante o procedimento de adição do turbo se faz necessário retirar o silenciador do motor, conforme ilustra a figura 21. Por causa disso, o cano de escapamento também precisa ser trocado por outro que possui um silenciador integrado, porém mesmo assim esse não consegue atenuar o nível de ruído que é emitido pelo motor.

As curvas de ruído para as três configurações de motor avaliadas apresentaram comportamentos similares (Figura 47). Estas foram traçadas a partir da média dos valores de ruído para cada rotação.

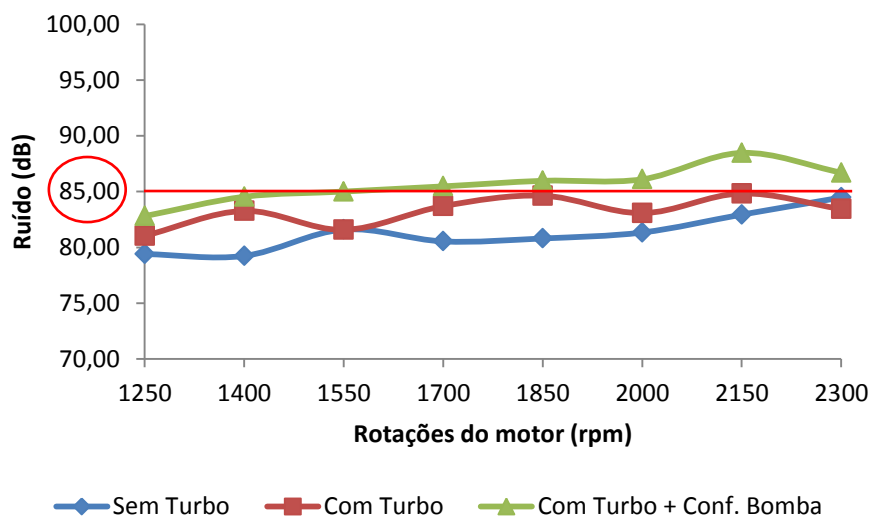


Figura 47 - Curvas de ruído em função da rotação do motor das três configurações do motor avaliadas.

Por se tratar de um trator agrícola cabinado, quando realizado o ensaio dinâmico na sua configuração original, isto é, sem a presença do turbo compressor, a cabine desempenha perfeitamente um de seus objetivos, o de atenuar o nível de ruído que chega ao ouvido do operador. Segundo a Norma Regulamentadora – NR 15 BRASIL (2011), o operador deste trator agrícola, nessa situação, poderia ficar exposto por um período de oito horas diárias, pois o nível de ruído no posto de operação não atinge o limite máximo estabelecido pela norma.

Já na configuração do motor com turbo compressor mais regulagem da bomba injetora, a partir da rotação de 1550 rpm do motor o nível de ruído emitido pelo mesmo é superior ao limite máximo estabelecido pela norma, sendo que a 2150 rpm atinge um pico de 88,47 dB. Nessa situação, para que o operador permaneça exposto a esse nível por uma jornada de trabalho de oito horas ou mais, além da cabine, se faz necessário a utilização de proteção auricular.

Para todos os tratamentos avaliados o nível de ruído aumenta à medida que ocorre incremento na rotação do motor do trator. Resultado semelhante foi encontrado por Alves et al. (2011), onde houve incremento linear no nível de ruído com o aumento da rotação livre do motor do trator, sendo que, a partir de 1000 rpm, há necessidade do uso de proteção auricular.

A análise de regressão das rotações do motor dentro de cada configuração é apresentada na figura 48.

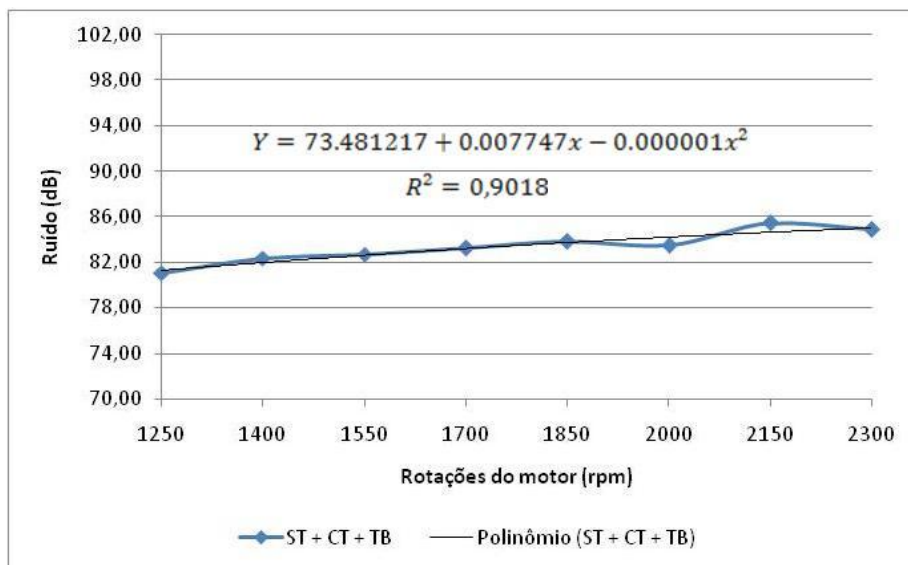


Figura 48 - Curva de tendência de ruído para as três configurações de ensaio do motor: sem turbo (ST), com turbo (CT) e com turbo + configuração da bomba injetora (TB).

As constantes do modelo matemático e o  $R^2$  para cada uma das configurações de motor avaliadas foram calculados pelo programa estatístico, e são representadas na tabela 31.

Tabela 31 - Resumo das constantes do modelo matemático de melhor ajuste do ruído para as configurações avaliadas.

Configurações	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> (%)
Sem turbo	84.80	-0.01	0.000004	84,28
Com turbo	65.96	0.02	-0.000004	55,95
Com turbo + Conf. Bomba	69.68	0.01	-0.000003	83,80

b0 – Coeficiente independente; b1 – Coeficiente de primeiro grau; b2 – Coeficiente de segundo grau.

#### 4.4.6 Nível de ruído emitido pelos motores agrícolas avaliados

Do total de tratores agrícolas avaliados, 32 (80%) possuíam posto de operação do tipo plataformado, sendo os demais (20%) cabinados. Os valores de ruído máximo emitido pelo motor dos tratores agrícolas avaliados encontram-se entre as rotações de torque e potência máxima.

A figura 49 apresenta os valores de ruído mínimo, médio e máximo em função das classes de potência para os tratores sem cabine.

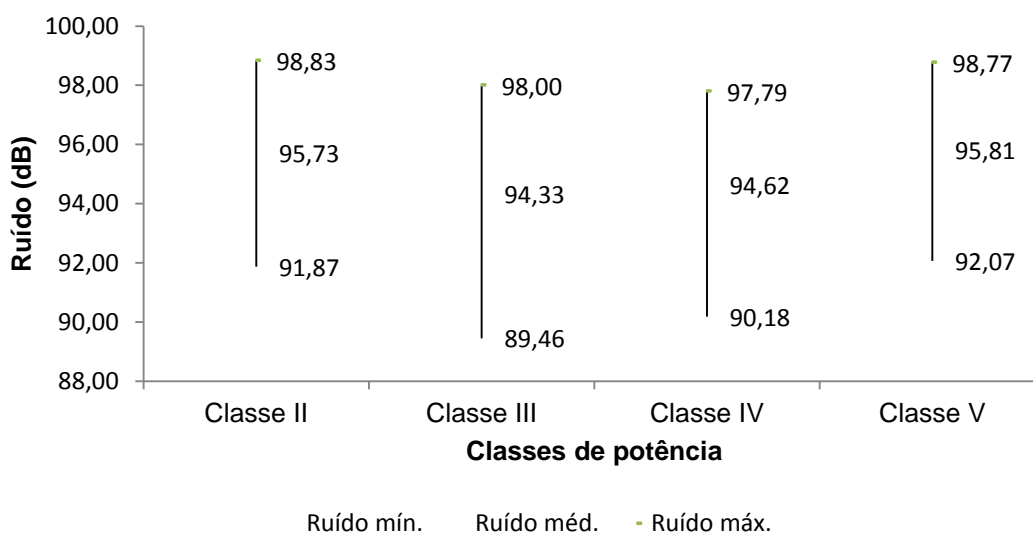


Figura 49 - Nível de ruído mínimo, médio e máximo emitido pelo motor e que chega ao ouvido do operador dos tratores agrícolas sem cabine por classe de potência.

Pode-se afirmar que para todas as classes de potência mesmo para os valores médios de mínimo ruído emitido pelos motores avaliados, ultrapassam o limite máximo de exposição (85 dB) estabelecido pela NR 15, tendo como referência uma jornada de trabalho de oito horas.

De acordo com a referida normativa, foi elaborado um gráfico (Figura 50) que apresenta os limites máximos de tolerância de tempo de exposição a fontes de ruído contínuo em função dos valores mínimo, médio e máximo de ruído mensurado no posto de operação dos tratores avaliados para cada classe de potência.

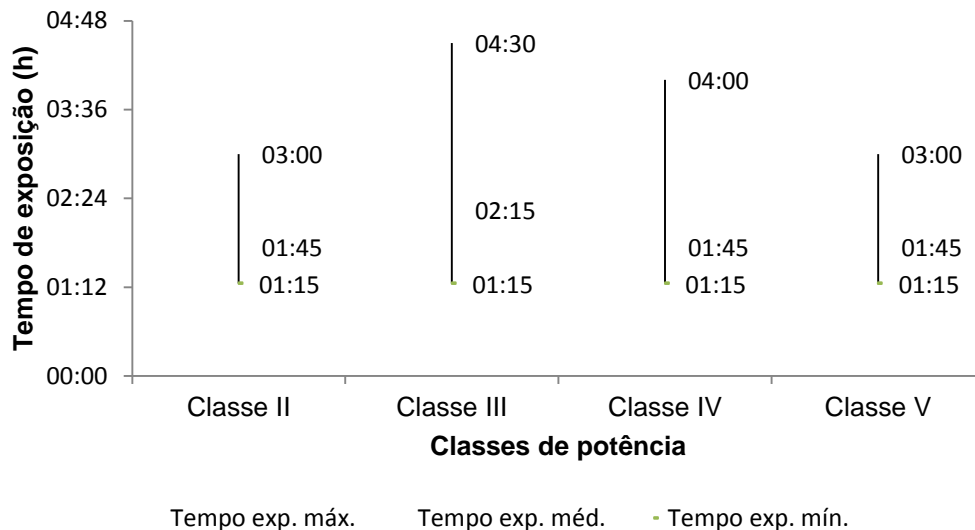


Figura 50 - Tempo de exposição máxima permissível do operador no posto de operação do tipo plataformado, de acordo com a NR 15, em função dos valores de ruído mínimo, médio e máximo mensurados para as classes de potência.

De acordo com a figura 50, o maior período de tempo que um operador pode permanecer em um posto de operação de um trator sem cabine da Classe III é de 04h30min.

Esse tempo de exposição pode ser estendido se o operador fizer uso de equipamentos de proteção individual, conhecidos como protetores auriculares, para atenuar os níveis de ruído.

Nagahama et al. (2012), determinaram os níveis de ruído emitidos por um trator agrícola de 40,5 kW de potência, em 18 rotações do motor (de 800 a 2500

rpm) sem carga, e concluíram que a partir da rotação de 1400 rpm o motor diminui o limite de tolerância em que o operador poderá ficar exposto.

Os tratores que possuem cabine pertencem às Classes III, IV e V. Ao fazer uma análise similar para os tratores cabinados, percebe-se observando a figura 51, que os tratores da Classe III e IV superaram em 0,45 e 0,65 dB, respectivamente o limite máximo estabelecido pela NR 15. Já o nível de ruído máximo medido no posto de operação dos tratores cabinados da Classe V não ultrapassaram o máximo permitido, chegando a 84,67 dB.

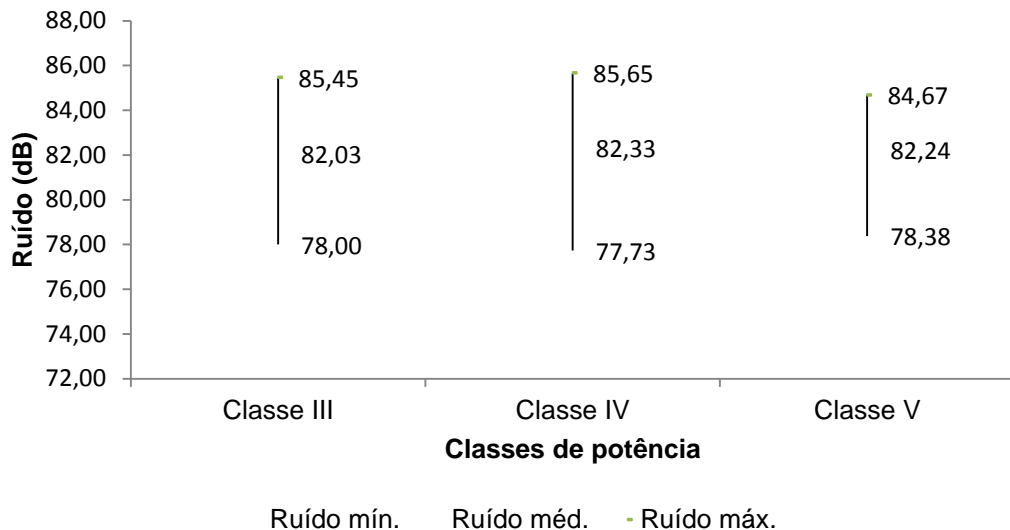


Figura 51 - Nível de ruído mínimo, médio e máximo emitido pelo motor que chega ao ouvido do operador dos tratores agrícolas com cabine para as Classes III, IV e V de potência.

Essa atenuação do nível de ruído emitido pelo motor demonstra a excelente qualidade dos projetos de cabine, e certa preocupação por parte dos fabricantes em reduzir esse índice, devido às fiscalizações do MTE, principalmente em usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo.

Novamente, tendo como base a normativa do MTE, elaborou-se a figura 52 que correlaciona tempo de exposição do operador ao nível de ruído contínuo, proveniente do motor, por exemplo. Ao analisar tal figura percebe-se que em função do baixo nível de ruído que chega ao ouvido do operador, o tempo de exposição

permissível do operador no posto de operação foi de no mínimo 7h, sendo que para os tratores enquadrados nas Classes III e V esse tempo aumentou para 8h.

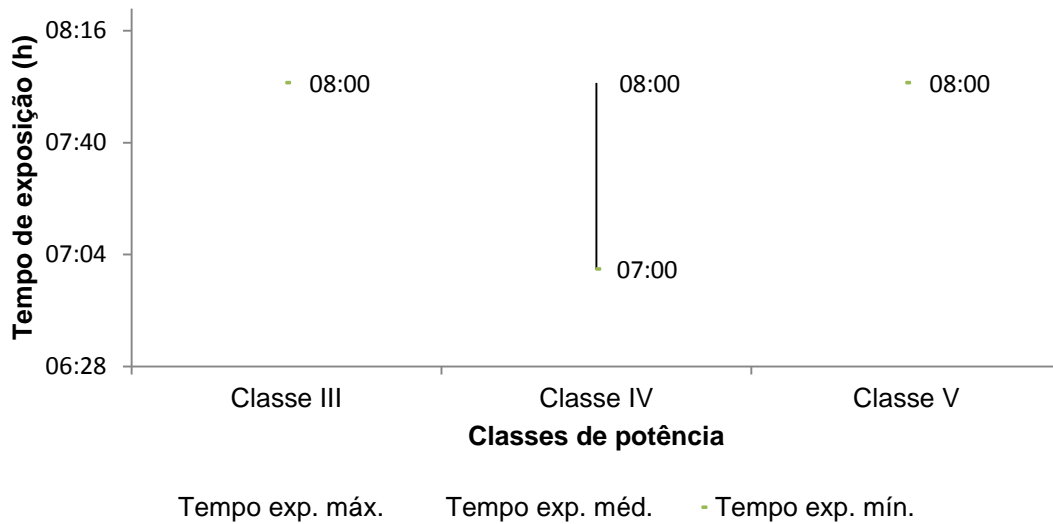


Figura 52 - Tempo de exposição máxima permissível do operador no posto de operação do tipo cabinado, de acordo com a NR 15, em função dos valores de ruído mínimo, médio e máximo mensurados para as Classes III, IV e V de potência.

Considerando uma jornada de trabalho de oito horas, estabelecida pela NR 15, e os níveis de ruído que os operadores estão submetidos, torna-se indispensável o uso de protetor auricular, ou que os projetos de tratores agrícolas sejam providos de cabine que atenua consideravelmente o nível de ruído, contribuindo para diminuir a insalubridade da operação (ARCOVERDE et al., 2011).

## 5 CONCLUSÕES

Os valores observados de potência efetiva dos motores dos tratores agrícolas da Classe IV são maiores quando comparados com os valores informados pelos fabricantes. Os valores mensurados de torque foram maiores que os especificados pelos fabricantes para os motores dos tratores da Classe III e menores para os da Classe V.

i. O motor que equipa o trator agrícola Valtra, modelo A750, foi o que obteve melhor desempenho no que se refere ao torque e a potência efetiva. Este mesmo motor foi o que emitiu os menores níveis de ruído.

ii. O motor Perkins foi o que obteve melhor desempenho de torque e potência quando comparado com o motor MWM *International*, e emitiu os menores níveis de ruído.

iii. O motor equipado com turbo compressor e com regulagem da bomba injetora obteve resultados superiores de torque e potência efetiva, porém emitiu maior nível de ruído.

iv. O nível mínimo de ruído emitido pelos motores avaliados dos tratores agrícolas sem cabine de todas as classes de potência ultrapassou o limite máximo de tolerância estabelecido pela norma NR 15. Já para os demais, a presença da cabine atenuou o nível de ruído, possibilitando a permanência do operador por até oito horas diárias no posto do operador.





## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5484**. Motores Alternativos de Combustão Interna de Ignição por Compressão (Diesel) ou Ignição por Centelha (Otto) de Velocidade Angular Variável - Ensaio. Rio de Janeiro, Fev. 1985. 8p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 1585**. Veículos rodoviários – Código de ensaios de motores – Potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, Set. 1996. 26p.
- ALVAREZ, I.; HUET, S. Automatic diagnosis of engine of agricultural tractors: The BED experiment. **Biosystems Engineering**, v.100, p.362–369, 2008.
- ALVES, A. D. S. **Nível de potência sonora emitido por trator agrícola**. 2009. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2009.
- ALVES, A. D. S.; COSTA, F. R. L.; CORTEZ, J. W.; DANTAS, A.C.; NAGAHAMA, H. J. Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.110-119, 2011.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 12 jul. 2013.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, 2010a. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 13 ago. 2013.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Tabelas Estatísticas**. São Paulo, 2010b. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 13 ago. 2013.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Tabelas Estatísticas**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas2010.html>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos**. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/50anos.html>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de potência sonora nas operações agrícolas. **Revista Nucleus**, Ituverava, v.8, n.1, p.277–285, 2011.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER. **SAE S323.2**: Definitions of powered lawn and garden equipment. St. Joseph, 1995. 826p.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER. **SAE EP496.2**: Agricultural Machinery Management. St Joseph, 2003. p.367-372.

AYBEK, A.; KAMER, H. A.; ARSLAN, S. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. **Applied Ergonomics**. v.41, p.274-281, 2010.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1588-1593, set./out. 2008.

BILSKI, B. Exposure to audible and infrasonic noise by modern agricultural tractors operators. **Applied Ergonomics**, v.44, p.210-214, 2013.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25ª Ed. São Paulo: Blücher, 2005. 1232p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Atividades e operações insalubres: NR-15**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15>> (atualizada 2011) II.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2013.

BRASIL. Secretaria da Agricultura Familiar. **Programa Mais Alimentos**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/institucional/maisalimentos>>. Acesso em: 26 jul. 2013.

CASTILHOS, C. C. A indústria de máquinas e implementos agrícolas (MIA) no Rio Grande do Sul: notas sobre a configuração recente. **Ensaio FEE**. Porto Alegre, junho de 2008. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br.html>>. Acesso em: 14 set. 2012.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Relatório PIB Agro-Brasil – Julho de 2013**. Piracicaba, 2013. 14p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/home/>>. Acesso em: 31 jun. 2013.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V. D; SOUZA, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **IDESIA** (online), Chile, v.30, n.1, p.25-34, jan-fev. 2012.

DANCEY, C; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ELKAHAÏR, A. Using design and forecast knowledge to develop a diagnostic system. **Proceeding of the Second International Machinery Monitoring & Diagnostics Conference**. Union College, Schenectady. New York, 1990.

ERENO, L. H. Z. **Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz**. 2008. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FEE. Fundação de Economia e Estatística. **PIB Estadual – Série Histórica – 2002-2012**. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pib-estadual-serie-historica-2002-2012.php>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v.6, p.36-41, 2008. Disponível em: <<http://www.fadminas.org.br/symposium>>. Acesso em: 23 set. 2013.

FERREIRA FILHO, J. B. de S.; FELIPE, F. I. Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996-2005. XLV Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia – SOBER. Londrina, PR. **Anais...** julho de 2007.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v.18, n.1, 2009.

FIORESE, D. A. **Desempenho em dinamômetro e emissões residuais de um motor de trator agrícola operando com misturas binárias de óleo diesel B5 e biodiesel de óleo de frango**. 2011. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GANIME, J. F.; ALMEIDA DA SILVA, L.; ROBAZZI, M. L. do C. C.; VALENZUELA SAUZO, S.; FALEIRO, S. A. O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura. **Enfermería Global**, Murcia, n.19, Jun. 2010.

GIACOSA, D. **Motores Endotérmicos**. 3ª Ed. Espanha: Dossat, 1980. 752p.

GÓMEZ, J. El Ruido – Efectos psicológico y su incidencia económica. **Ingeniería**, San José, v.21, n.1, p.75-82, 2011.

GONÇALVES, V. B.; REIS, A. V dos.; BERTOLDI, T. L.; HORNKE, N. F.; KIRINUS, C. A. Avaliação do nível de ruído no posto do operador em tratores do programa Mais Alimentos. XX Congresso de Iniciação Científica – CIC. Pelotas, RS. **Anais...** 2011.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engines fundamentals**. 2ª Ed. New York: McGraw-Hill, 1988. 897p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 08 jul. 2013.

IMPERIAL, J. M. **Turbo: sobre alimentação de motores rápidos**. Lisboa: Edições Cetop, 1980. 230p.

ISO. International Standard Organization. **ISO 5353**: Earth – moving machinery – Seat Index Point. Genève, 1978.

ISO. International Standard Organization. **ISO 2288**: Agricultural tractors and machines – Engine test code (bench test) – Net power. St Joseph, 1979.

ISO. International Standard Organization. **ISO 5131**: Acoustics – tractors and machinery for agriculture and forestry – measurement of noise at the operator's position. St Joseph, 1982. 8p.

ISO. International Standard Organization. **ISO 789/1**: Agricultural Tractors – Test procedures – Part 1: Power tests for power take-off. St Joseph, 1990. 10p.

KARABEKTAS, M. The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel. **Renewable Energy**, v.34, p.989-993, 2009.

LEONTSINIS, E. Óleo Diesel. In: **Curso de informação sobre combustíveis e combustão**. 11ª Ed. Rio de Janeiro: IBP, 1988. p. 65-77.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. 2ª Ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2006. 215p.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

MÁRQUEZ, L. **Solo Tractor'90**. Madrid: Laboreo, 1990. 231p.

MÁRQUEZ, L. Las transmisiones: el escalonamiento de las marchas. **Agrotécnica**, Madrid, n.10, p.55–62, 2004.

MÁRQUEZ, L. Ahorro de combustible. **Agrotécnica**, Madrid, Suplemento especial, 2005.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Espanha: B&H Grupo Editorial, 2012. 844p.

MASTER POWER. **Manual Técnico**. São Marcos, 2013. Disponível em: <[http://www.masterpower.com.br/informacoes\\_tecnicas](http://www.masterpower.com.br/informacoes_tecnicas)>. Acesso em: 26 ago. 2013.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo, SP: Ceres, 1974. 301p.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo, SP: EDUSP/USP, 1980. 289p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722p.

MIRANDA, J. C. da R. **Abertura comercial, reestruturação industrial e exportações brasileiras na década de 1990**. Texto para discussão n. 829, IPEA. Brasília, out. 2001.

NAGAHAMA, H. J.; CORTEZ, J. W.; GRANJA, G. P.; GARRIDO, M. S., CARVALHO, P. G. S. Níveis de potência sonora emitido por um trator agrícola de pneus em função da rotação, raio de afastamento, velocidade e tipo de pistas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.20, n.4, p.328–339, 2012.

NIETIEDT, G. H.; RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; CASALI, A. L.; UHRY, D. Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55 kW de potência. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.690–695, 2012.

NEMA. Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas. **TRANSPOT 1.0**. Santa Maria, 2010. Versão 1.0.

OBERT, E. F. **Motores de combustión interna: Análisis y aplicaciones**. 2ª Ed. México: Continental, 1966.

OBERT, E. F. **Motores de Combustão Interna**. 2ª Ed. Porto Alegre: Globo, 1971. 618p.

OECD. Organization For Economic Cooperation and Development. Code 2: Standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. Paris, 2007. 61p.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. Agricultural tractor test search engine. Disponível em: <[http://www2.oecd.org/agr-coddb/index\\_en.asp](http://www2.oecd.org/agr-coddb/index_en.asp)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Tractores: Técnica y seguridad**. Espanha: Mundi-prensa, 2012. 223p.

PIMENTA JUNIOR, C. G.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. P. B.; COUTO, R. F.; LEONÍDIO, D. M.; REIS, E. F. dos. Análise espacial do nível de ruído emitido por trator agrícola. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.3, p.514-520, jul.-set. 2012.

REIS, A. V. dos; MACHADO, A. L. T.; TILLMANN, C. A. da C.; MORAES, M. L. B de. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. Pelotas: Universitária, 1999. 315p.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; NIETIEDT, G. H. Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p.2206-2209, ago. 2010.

ROTZ, A.; BOWERS, W. Repair and maintenance cost data for agricultural equipment. **Transactions of ASAE**, ASAE Report nº 911531, 1991.

RUSSINI, A. **Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico**. 2012. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SCHLOSSER, J. F. **Administração de máquinas agrícolas**. Série técnica – Módulo 6, Santa Maria: Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 1998. 100p.

SHARKEY, A. J.; CHANDROTH, G. O.; SHARKEY, N. E. A multi-net system for the fault diagnosis of a Diesel engine. **Neural Computing & Applications**. v.9, p.152-160, 2000.

SILVEIRA, G. M.; SIERRA, J. G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.418-424, out. 2010.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 245p.

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

SIMS, R. E. H.; RITCHIE, W. R.; CHADWICK, A. J. Turbocharging of an Agricultural Tractor Engine. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.47, p.177-186, 1990.

SOBRAL, G. R. **A evolução da indústria de tratores no Brasil: Estrutura de mercado e competitividade no período de 1994-2008**. 2010. 61p. Monografia (Curso de Ciências Econômicas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering Principles of Agricultural Machines**. United States: Books & Journals, 1993. 601p.

STONE, R. **Introduction to Internal Combustion Engines**. 6ª Ed. United States of America: SAE, 1999. 574p.

STORCK, L., LOPES, S. J., LÚCIO, A. D. **Experimentação II**. Caderno didático, Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 205p.

TAYLER, C. F. **Análise dos motores de combustão interna**. 1ª Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1988. 558p.



## **APÊNDICES**



Apêndice A – Folder utilizado para divulgação do projeto

Páginas externas

**HISTÓRICO E ATUAÇÃO DO AGROTEC:**

O Agrotec é um laboratório de pesquisa voltado ao campo das novas tecnologias agrícolas, com um enfoque técnico e científico que possibilita ampla atuação no meio acadêmico, agrícola e industrial.

Sob coordenação do Prof. Dr. José Fernando Schlosser, o Agrotec está vinculado ao Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) que é um órgão suplementar do Centro de Ciências Agrícolas, com missões de ensino, pesquisa, difusão de tecnologia, avaliação de máquinas agrícolas, desenvolvimento de produtos e projetos em apoio ao ensino de graduação e de pós graduação.

Atualmente o Agrotec realiza trabalhos voltados a avaliações e ensaios de tratores agrícolas, englobando temáticas como: ergonomia e segurança, desempenho em tração e desempenho em bancadas dinamométricas, sendo referenciado como um dos mais importantes laboratórios no Brasil a desenvolver avaliações desta natureza.



**MAIS INFORMAÇÕES:**  
 (55) 3220-8175 E (55) 3220-8850  
[josefermandoschlosser@gmail.com](mailto:josefermandoschlosser@gmail.com)  
[gustavoheller@hotmail.com](mailto:gustavoheller@hotmail.com)

**REALIZAÇÃO**



**PROJETO:**

**INSPEÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS**

**AVALIAÇÃO DE MOTORES DE TRATORES AGRÍCOLAS NO ESTADO DO RS**



**UFSM  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

Páginas internas

**PROJETO DE VERIFICAÇÃO E ENSAIOS DE MOTORES EM TRATORES AGRÍCOLAS**

**OBJETIVO DA INSPEÇÃO TÉCNICA:**

REALIZAR UMA VERIFICAÇÃO EM TEMPO REAL DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE MOTORES QUE EQUIPAM TRATORES AGRÍCOLAS.

ATRÁVES DE UMA SIMPLES BATERIA DE TESTES, POR MEIO DO ACOPLAMENTO VIA TOMADA DE POTÊNCIA DOS TRATORES, PODE-SE DETERMINAR A CONSISTÊNCIA DOS VALORES INFORMADOS PELO FABRICANTE E ATESTAR O BOM FUNCIONAMENTO DESTES MOTORES.


DESTA FORMA, É POSSÍVEL MENSURAR OS VALORES DE TORQUE, POTÊNCIA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE CADA MÁQUINA SUBMETIDA AO TESTE.



**OBJETIVO E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO COM CONCESSIONÁRIOS:**

A REALIZAÇÃO DE TRABALHOS DESTA NATUREZA, DIRETAMENTE COM OS CONCESSIONÁRIOS E USUÁRIOS, SE BASEIA NA NECESSIDADE DE QUE ESSES TENHAM EM MÃOS UM DIAGNÓSTICO COMPLETO DE SUAS MÁQUINAS, O QUE SE REFLETE EM GARANTIA DE QUALIDADE DOS PRODUTOS COMERCIALIZADOS, E, PRINCIPALMENTE DOS SERVIÇOS DISPONIBILIZADOS PELA EMPRESA.

ESTE DIAGNÓSTICO PODERÁ SERVIR DE APOIO PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE CADA MÁQUINA AVALIADA E, EM CARÁTER PERICIAL, FORNECER INFORMAÇÕES PARA AS POSSÍVEIS MANUTENÇÕES CORRETIVAS. OS RESULTADOS TAMBÉM PODERÃO SER ÚTEIS PARA O CORRETO DIMENSIONAMENTO DE CONJUNTOS MECANIZADOS.





LABORATÓRIO DE AGROTECNOLOGIA  
 AVENIDA ROSARIANA - 1000, COLÍDEU UNIVERSITÁRIA, SAINHO CAMBÓI,  
 CEP: 97105-900, SANTA MARIA, RS. FONE: (51) 3220-8175

LABORATÓRIO DE AGROTECNOLOGIA  
 AVENIDA ROSARIANA - 1000, COLÍDEU UNIVERSITÁRIA, SAINHO CAMBÓI,  
 CEP: 97105-900, SANTA MARIA, RS. FONE: (51) 3220-8175

LABORATÓRIO DE AGROTECNOLOGIA  
 AVENIDA ROSARIANA - 1000, COLÍDEU UNIVERSITÁRIA, SAINHO CAMBÓI,  
 CEP: 97105-900, SANTA MARIA, RS. FONE: (51) 3220-8175

Dimensões: Largura: 297 mm e altura: 210 mm

Apêndice B – Formulário utilizado durante os ensaios para caracterização e cadastro dos tratores agrícolas avaliados.

	<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA</b> <b>NÚCLEO DE ENSAIOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS</b>	
<b>PROJETO DE INSPEÇÃO TÉCNICA DE TRATORES AGRÍCOLAS</b>		<input type="checkbox"/>
<b>Responsáveis:</b> José Fernando Schlosser, Gustavo Nietiedt e Marcelo Farias		
<b><u>Dados gerais</u></b>		
Empresa: _____		
Data: _____		
Hora: _____		
Trator: _____		
Modelo: _____		
Nº veículo: _____		
Horímetro (hs): _____		
Nº série: _____		
Nº chassi: _____		
<b><u>Produtor rural</u></b>		
Nome: _____		
Município: _____ Localidade: _____		
Ponto GPS: _____		
Culturas: _____		
Área plantada total (ha): _____		

**Verificações****➤ Pneus:**

Pneus dianteiros: \_\_\_\_\_

Pneus traseiros: \_\_\_\_\_

**➤ Posto de operação:** Plataformado       Cabinado       Acavalado**➤ Relação de transmissão:**  540 rpm  
 1000 rpm

Tacômetro (rpm): \_\_\_\_\_

Trator (rpm): \_\_\_\_\_

**➤ Rotação nominal:**

Tacômetro (rpm): \_\_\_\_\_

Trator (rpm): \_\_\_\_\_

**➤ Pesagens:**

Massa total (kg): \_\_\_\_\_

Massa eixo traseiro (kg): \_\_\_\_\_

Massa eixo dianteiro (kg): \_\_\_\_\_


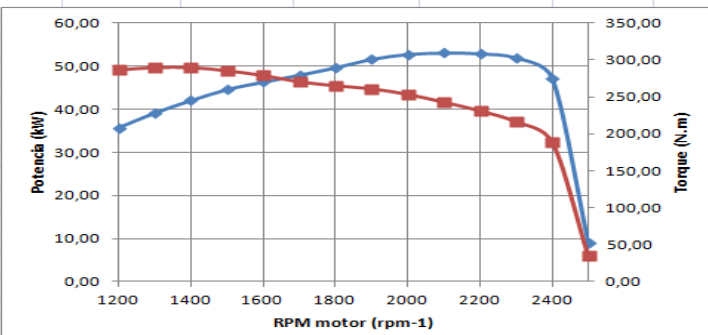
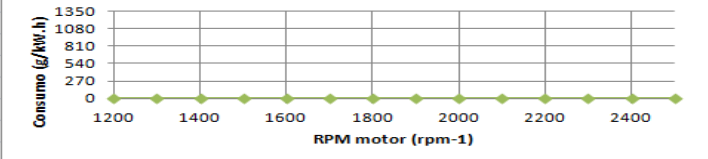
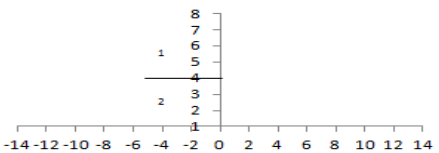
Distribuição estática de peso (dianteiro/traseiro): \_\_\_\_\_

**➤ Ruído:**

Ruído de fundo (dB): \_\_\_\_\_

Ruído (dB): \_\_\_\_\_

Apêndice C – Relatório de ensaio do trator agrícola marca Valtra, modelo A750.

Valtra		A750		NEMA		N° ensaio 030-A-2013	
				<b>Características do Trator</b> Fabricante: Valtra Modelo: A750 Tipo: 4x2 TDA País de Fab.: Brasil Ano de Fab.: 2013 N° de horas: 0,7 Transmissão: Mecânica N° Marchas: 8x4 EPCC: Com			
<b>Rodado</b> Dianteiro: 12.4-24 R1 Traseiro: 18.4-30 R1		<b>Dimensões (mm)</b> Comp. Total: 4020 Altura máx.: - Entre eixos: 2230 Vão livre: - Bitola D.: - Bitola T.: 2124		<b>Ensaio</b> x Motor x Ruído - Emissões - Sist. Hidra. 3P - Transmissão			
<b>Peso Total (kg)</b> Dianteiro: 1250 39% Traseiro: 1940 Total: 3190							
							
							
Condições do ensaio:		Temperatura do ar:		15,8°C		Press. Atm.: 1007,1mbar	
		Umidade relativa do ar:		85%			
Valtra		A750		NEMA		N° ensaio 030-A-2013	
<b>Características do Motor</b> Fabricante/Modelo: AGCO Power/320DS N° Cilindros/Disposição: 3/Em linha Volume interno/Arref.: 3300 cm³/Água Aspiração/Emissões: Turbo/- Injeção/Tipo de inj.: Mecânica/Direta				<b>Bomba injetora</b> Marca: Delphi Modelo: DP 100 Tipo: Rotativa Combustível: Diesel B5			
<b>TDP</b> 540 rpm Rot. Máx.: 710 rpm Rot. Motor: 1900 Relação: 3,52				<b>Ruído</b> Ouvido op.: 97,7 dB Passagem: - ISO 5131			
<b>Ensaio do motor a plena carga</b>							
Carga 100%		Potência Máx. (kW)	Torque Máx. (N.m)	Reserva Torque	Elasticidade	Consumo de combustível	
Motor		54,11/2150	290/1350	20,2%	1,91	g/kW/h	l/h
TDP		51,6/540	260,8/540			-	-
DIN 70020							
<b>Emissões de gases</b> HC - NO - NO2 - CO - CO2 - O2 - ISO 8178, C1				<b>Transmissão</b> 			
<b>Sistema Hidraulico de 3P</b>							
Categoria: -							
Medições		Braço	Elevação	Contínuo*	Máximo*		
Traseiro		Curta	-	-	-		
		Media	-	-	-		
		Longa	-	-	-		
Dianteiro		-	-	-	-		
* Forção de elevação a 90% de pressão						ISO 789-2	
Equipe de trabalho:		Marcelo Silveira de Farias		Fabrício Azevedo Rodrigues			
Data:		11/07/2013		Ulisses Giacomini Frantz		Vinícius Paim Alende	

Universidade Federal de Santa Maria - Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas - Laboratório de Agrotecnologia

Universidade Federal de Santa Maria - Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas - Laboratório de Agrotecnologia

Apêndice D – Protocolo para a realização de ensaios dinamométricos utilizando o dinamômetro móvel marca EGGERS, modelo PT 301 MES.



## PROCEDIMENTOS UTILIZADOS EM ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS DE TRATORES AGRÍCOLAS

**PROCEDIMENTO: Como proceder com a operacionalização de um ensaio dinamométrico, utilizando o dinamômetro móvel PT 301 MES.**

**Autores: José Fernando Schlosser e Marcelo Silveira de Farias**  
**Última atualização: 28/10/2012**

### **I – Para que serve o procedimento**

Passo a passo para realização de um correto acoplamento (trator + dinamômetro) e operacionalização dos ensaios utilizando o dinamômetro móvel PT 301 MES.

### **II – Materiais necessários**

Trator agrícola a ser submetido ao ensaio;  
 Dinamômetro móvel marca EGGERS, modelo PT 301 MES;  
 Árvore de transmissão articulada (árvore cardan);  
 Gerador de energia elétrica;  
 Cabo de energia;  
 Termo-higrômetro;  
 Tacômetro foto/contato digital;  
 Computador com o *software* do dinamômetro (EGGERS *Power Control* V3.2);  
*Pen drive do Bluetooth.*

### **III – METODOLOGIA**

- Verificação do nível de óleo lubrificante do motor, água do radiador e óleo diesel.

- Primeiramente, faz-se necessário saber qual é a relação de transmissão do

trator a ser avaliado. É um fator adimensional que se calcula dividindo a rotação do motor pela rotação da tomada direta de potência (TDP) (540 ou 1000 RPM). Esse fator é imprescindível para que o programa faça as medições corretas, visto que este ensaio será realizado através da TDP do trator. Para isso, utiliza-se um tacômetro digital laser, onde, primeiro, mede-se a rotação na TDP (540 ou 1000 RPM) e posteriormente a correspondente rotação no volante do motor;

- Posicionar o dinamômetro em um lugar plano, de preferência sobre um piso de concreto, freá-lo e ajustar as sapatas traseiras de modo a nivelar o equipamento em relação ao solo e à TDP do trator. Ao conectar o cabo de energia ao dinamômetro, cuidar para que este fique travado.

- Posicionar o trator a ser ensaiado;

CUIDAR: Deve estar a uma distância correta em relação ao dinamômetro, em ponto morto e com o freio de mão acionado.

- Estender o cabo de energia e conectá-lo ao gerador. O cabo deve se conectar na entrada AC 110/220V (entrada da direita) do gerador e deve-se cuidar para que fique travado, girando o conector para a direita;

CUIDAR: Sempre ao ligar o gerador de energia elétrica, verificar o nível de combustível (óleo diesel), o nível do óleo lubrificante e a chave geral, esta deve estar desligada. Feito isso, pressione a alavanca de descompressão para baixo e liga-se o equipamento, primeiro através da chave de ignição e depois a chave geral de fornecimento de energia.

- Com o trator desligado, acoplar o trator ao dinamômetro através da árvore cardan e verificar que as correntes de segurança estão fixadas nas duas extremidades;

CUIDAR: Alinhamento do trator em relação ao equipamento e inclinação da árvore cardânica, o nivelamento não deve ultrapassar 2% ou 7° (ISO 789/1).

- Ligar o trator, acionar a TDP e deixá-lo em funcionamento;



- Faz-se um aquecimento do motor a ser avaliado, utilizando o próprio dinamômetro móvel, no modo manual (seletores: controle remoto no modo desligar e liberar o freio no modo regulagem de torque), onde o motor será posto a trabalhar em regime de rotação máxima (aceleração máxima) e através da submissão de uma carga constante diminui-se esta rotação para 1800 RPM durante o período de tempo necessário para que a temperatura do motor estabilize-se na temperatura ótima de funcionamento;

- Deve-se inicialmente desligar a rede *wireless* do computador portátil e em seguida, conecta-se o *pen drive* do *Bluetooth* a este computador, o qual está equipado com um *Software* específico que fará a leitura e aquisição dos dados de forma automática;

CUIDAR: Primeiro liga-se o dinamômetro através da chave principal (ventiladores), depois a chave do painel de controle e manipulação dos dados (eletrônica). Feito isso, os dois seletores (controle remoto e liberar o freio) devem estar posicionados na opção (automático e regulagem de RPM, respectivamente). Por diante, abrir o ícone *Bluetooth* localizado no canto inferior direito da tela do Windows, clica-se duas vezes no ícone da conexão (Lenovo\_EGGERS DYNAMOMETER), depois abrir o programa do dinamômetro.

- Coloca-se o programa do equipamento para rodar, inserem-se as informações do trator como (marca, modelo, número de horas, número do chassi, relação de transmissão, entre outras) e com o auxílio de um termo-higrômetro, devem-se inserir as informações meteorológicas de temperatura e pressão atmosférica no momento do ensaio. Estes dados são necessários para a realização das devidas correções em relação ao desempenho das máquinas submetidas aos ensaios;

- Feito isso, coloca-se o trator na sua aceleração máxima e procede-se com a frenagem e aquisição de dados de forma manual ou automática deste.

CUIDAR: Sempre que possível, uma pessoa, portando equipamento de proteção auricular, deve estar posicionada no posto de operação

do trator a ser avaliado, a fim de impedir um acidente caso um problema ocorra.

#### **IV – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS**

Frenagem e aquisição dos dados realizados com êxito pelo dinamômetro móvel.

Avaliação das curvas de desempenho do motor ensaiado.

#### **V– Referências**

- ISO. International Standard Organization. ISO 789/1: Agricultural Tractors – Test procedures – Part 1: Power tests for power take-off. St Joseph, 1990.10p.
- MÁRQUEZ, L. Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización. Espanha: B&H Grupo Editorial, 2012. 844p.
- MIALHE, L. G. Máquinas Agrícolas: Ensaios e certificação. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722p.

#### **VI – Anexos**