



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ana Maria Pietrobon Tirapelle

**LEVANTAMENTO DE CURVA ESPECÍFICA DO MOTOR DE
UM TRATOR AGRÍCOLA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Agrícola à Faculdade de
Engenharia Agrícola da Unicamp.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero

Campinas
2022



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

BANCA EXAMINADORA.

.....
Prof.

.....
Prof.

.....
Prof.



DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Heloiza Pietrobon e José Aparecido Tirapelle, por sempre me incentivarem, me dando todo o suporte e apoio necessário para seguir meus objetivos



AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Daniel Albiero por todo apoio e aprendizado ao longo desses anos de graduação.

Ao Dr. Cezário Benedito Galvão pela disposição e por todas as instruções e ensinamentos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola Gabriel Cardoso por compartilhar seu conhecimento sobre o tema e auxiliar sempre que possível.

Ao Victor Scaliante dos Santos e Ronan Pereira pela parceria na realização dos ensaios experimentais.

Aos meus pais, que sempre me motivaram e me deram total apoio.

Aos meus amigos e colegas de turma pelos anos de convivência que serão lembrados para sempre.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à Faculdade de Engenharia Agrícola pela realização do curso de graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos disposta para a execução deste trabalho também como iniciação científica.

RESUMO

É possível perceber o crescimento da produção agrícola interligado à implantação de novas tecnologias, atreladas diretamente às máquinas agrícolas. Essas máquinas fornecem a energia, a eficiência e a produtividade necessária às operações, além de suprirem a diminuição no número de trabalhadores rurais no país. Pelo fato de o maquinário estar diretamente ligado à produtividade na agricultura, é de se esperar que este seja um setor que demanda alto consumo de combustível, afetando diretamente a poluição ambiental. É fundamental possuir um bom entendimento das principais características de desempenho de um motor agrícola. Desta forma, torna-se possível falar sobre maior rendimento, uma vez que se pode selecionar adequadamente a rotação do motor e a relação de transmissão na caixa de redução, minimizando o consumo específico de combustível. Assim, ratifica-se a importância da escolha correta de normas para a utilização adequada de equipamento a serem utilizados em cada operação agrícola. O objetivo do presente trabalho é traçar as curvas de desempenho do motor de um trator agrícola, já disponível na Faculdade de Engenharia Agrícola, e com isto avaliar seu desempenho, através da demanda de potência, torque e consumo horário. Entre os objetivos específicos, era esperado preparar um arranjo de instrumentação para o trator, executar os ensaios de curvas de potência, torque, consumo horário e consumo específico do motor do trator e por fim, associar os resultados obtidos nos ensaios em forma gráfica, segundo as normas OECD (Códigos - Padrão para testes oficiais de tratores agrícolas e florestais) e a NBR 1585 (1996). Pode-se construir as curvas de desempenho do motor agrícola do trator MF 265, que nos forneceu dados sobre o motor em questão, e com isto é possível analisar as curvas e trabalhar com as faixas de rotação e torque nas quais o motor apresenta menor consumo de combustível específico e maior potência gerada.

Palavras-chave: Máquinas agrícolas, Consumo específico, Faixas de operação.

ABSTRACT

It is possible to perceive the growth of agricultural production linked to the implementation of new technologies, directly linked to agricultural machines. These machines provide the energy, efficiency and productivity necessary for operations, in addition to meeting the decrease in the number of rural workers in the country. Due to the fact that machinery is directly linked to productivity in agriculture, it is to be expected that this is a sector that demands high consumption of fuel, directly affecting environmental pollution. It is critical to have a good understanding of the key performance characteristics of an agricultural engine. In this way, it becomes possible to talk about greater efficiency, since the engine speed and transmission ratio in the reduction box are properly selected, minimizing the specific fuel consumption. Thus, the importance of the correct choice of norms for the proper use of equipment to be used in each agricultural operation is ratified. The objective of the present work is to trace the performance curves of the engine of an agricultural tractor, already available at the Faculty of Agricultural Engineering, and with this to evaluate its performance, through the demand of power, torque and hourly consumption. Among the specific objectives, it was expected to prepare an instrumentation arrangement for the tractor, perform the tests of power curves, torque, hourly consumption and specific consumption of the tractor's engine and finally, associate the results obtained in the tests in graphic form, according to the OECD norms (Codes - Standard for official tests of agricultural and forestry tractors) and the NBR 1585 (1996). It can be said that it was possible to build the performance curves of the agricultural engine of the MF 265 tractor, which provided us with data on the engine in question, and with this it is possible to analyze the curves and work with the rotation ranges and torque at which the engine has lower specific fuel consumption and greater power generated.

Keywords: Agricultural machinery, Specific fuel consumption, Operational range.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
4. METODOLOGIA.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONCLUSÕES.....	38
7. REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Pode-se perceber que o crescimento da produção agrícola está relacionado com a implantação de novas tecnologias, ligadas diretamente às máquinas agrícolas. Tais máquinas fornecem energia, eficiência e produtividade necessária para as operações, além de suprirem a diminuição no número de trabalhadores rurais no país. Ao visualizar o cenário agrícola atual, é imprescindível equiparar produtividade à maquinário e tecnologia, juntamente com um baixo custo (MONTANHA *et al.*, 2017).

A mecanização dentro da agricultura tornou-se um dos fatores responsáveis pela alta produção do mercado agrícola em território nacional nas últimas décadas, alcançando assim um grande destaque dentro da expansão agrícola, possibilitando uma maior área de cultivo com menor número de trabalhadores, que foram deslocados para novos campos da economia agrícola (COLLA, 2001).

De acordo com Pelloia et al. (2010) a transição da tração animal pela utilização de tratores agrícolas nos últimos quarenta anos, obteve melhorias na produtividade das culturas por conta do melhor desenvolvimento na eficiência operacional de emprego mais adequado dos insumos, especialmente nas pequenas propriedades rurais.

Dentre as máquinas agrícolas, o trator tem sido indispensável para tal crescimento. É ele que traciona os implementos, que realiza as atividades necessárias. Nos últimos anos, a mudança ocorrida na frota de tratores do país é nítida e, atualmente, há prevalência de tratores com cabines, ar condicionado, maior potência, design sofisticado e itens que geram melhor ergonomia e maior segurança. O impacto causado pelo uso de tratores agrícolas é medido por maiores eficiências operacionais, economia de mão de obra, expansão da área agrícola, e de mecanização e qualidade da melhoria da produção comercializada (GONZAGA, 2020).

Para esses produtores agrícolas que visam um desenvolvimento, bem como para empresas do setor agro o desenvolvimento de ferramentas e tecnologias se torna inevitável e desta forma faz com que estes pesquisem e busquem por um aumento na eficiência e rendimento tecnológico dos processos que são realizados em campo, uma vez que ao manifestar essa eficiência, a economia de custos juntamente com o lucro desse produtor se torna evidente (MONTANHA *et al.*, 2017).

No que se diz respeito ao trator agrícola, Almeida *et al.* (2010) citam que, para que haja um aumento da velocidade de trabalho em pequenas proporções, o operador do maquinário deverá elevar a rotação do motor. Em uma rotação angular consideravelmente alta, sua rotação diminuirá, acarretando na diminuição do torque e conseqüentemente aumento no consumo de combustível. Neste momento, é utilizada a reserva de torque, que elevará o torque do motor a fim de recuperar sua rotação ideal.

Além disso, para o melhor desempenho do trator no campo, a massa do mesmo influi diretamente, sendo fundamental para maior capacidade operacional de combustível da máquina e menor consumo (GONZAGA,2020).

Desta forma, buscou-se em trabalhar de acordo como o que apresentado através dos experimentos realizados pelo Moraes (2017), onde buscava realizar o ensaio de curva de completa do motor agrícola. Contudo, não obteve êxito na coleta de dados de consumo de combustível pois o fluxômetro utilizado não funcionou adequadamente, sendo improvável a obtenção de dados fidedignos.

Para o presente trabalho foi utilizado um novo fluxômetro, modelo gravimétrico, pelo Pereira (2020). Este fluxômetro gravimétrico que pode oferecer uma alternativa na aquisição de dados de consumo de combustível para compor o estudo do levantamento de curvas de consumo específico e potência específica de motores agrícolas, possibilitando a coleta de dados e melhor avaliação do motor do trator.

Para Modolo et al. (2005) um bom modelo dessa busca é a gama de máquinas e implementos que hoje em dia se mostram disponíveis no mercado agro, permitindo uma melhor mecanização agrícola com tecnologia de ponta introduzida em forma de ferramentas de operação e obtenção de informações, que ao serem utilizadas da maneira mais adequada, possibilitam ampliação de áreas cultiváveis, melhoria na produtividade além de agirem como um facilitador das tarefas executadas pelo homem em campo, melhorando a capacidade de trabalho em menor espaço de tempo hábil.

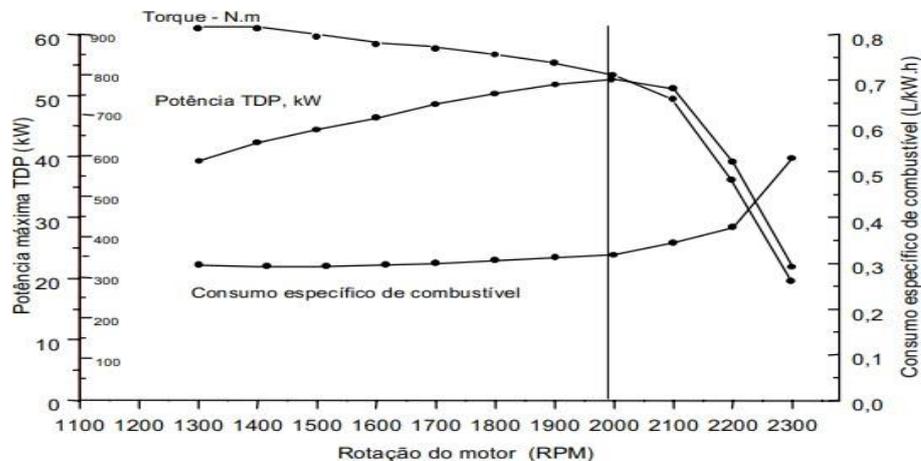
Silveira et al. (2017) ainda complementam o fato da agricultura ser um dos setores que, no caso de tratores agrícolas, mais necessitam de tomadas de decisões adequadas, visando sempre a tentativa de redução de alto consumo de combustível diminuindo a poluição ambiental além de se tornar uma figura central dentro do cenário agrícola para redução de custos de produção e gastos com combustíveis.

É fundamental possuir um bom entendimento das principais características de desempenho de um motor agrícola. Desta forma, torna-se possível falar sobre maior rendimento, uma vez que é possível selecionar adequadamente a rotação do motor e a relação de transmissão na caixa de redução, minimizando o consumo específico de combustível. Com isso, os gastos totais e o custo específico por hora-máquina trabalhada do motor são diminuídos (FORASTIERE, 2019).

Mantovani, Leplatois e Inamassu (1999), ao realizar testes em motores de tratores agrícolas, trabalhando a rotações de 1300 a 2300 rpm, chegaram nas curvas obtidas na Figura 1. Segundo os autores, tal gráfico oferece informações adequadas sobre o motor em questão,

fazendo com que se utilize uma rotação de motor mais adequada para a realização de determinado serviço com o implemento.

Figura 1. Curva de desempenho do trator Massey Ferguson MF292 Turbo



Fonte: Retirado de Mantovani, Leplatois e Inamassu, 1999.

Frantz *et al.*, (2014) afirmam que o desempenho de um motor a diesel pode ser conhecido através deste gráfico, que possui três curvas essenciais que auxiliam na ilustração das principais características de desempenho do motor. Estas curvas são as curvas de torque, de potência e de consumo específico de combustível.

Segundo Capelli (1990), há uma grande importância no entendimento por parte do operador com relação às características de desempenho do motor do trator agrícola, tornando-se possível realizar uma melhor adequação dentre a combinação correta da rotação do motor e a relação de transmissão na caixa de redução. Desta forma, haverá a redução do consumo específico de combustível, bem como os gastos integrais deste maquinário, além da diminuição dos custos realizados por hora- máquina.

Tendo em vista que os tratores agrícolas compõem o alicerce da agricultura moderna, a importância de se compreender a real situação do desempenho dos seus motores bem como a relação entre a imagem do trator como uma potência bruta por conta de seu motor, o presente trabalho, objetivou-se elaborar a instrumentação apropriada para o dinamômetro já disponível na Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, a fim de obter os dados para a elaboração de uma curva completa para um motor de trator agrícola. Com esta curva, será possível a avaliação das características de desempenho do motor.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é traçar as curvas específicas do motor de um trator agrícola, já disponível na Faculdade de Engenharia Agrícola, e com isto avaliar seu desempenho, relacionando o consumo de combustível, demanda de potência e torque.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar um arranjo de instrumentação para o trator;
- Executar os ensaios de curvas de potência, torque e consumo específico do motor do trator;
- Associar os resultados obtidos nos ensaios em forma gráfica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agricultura, setor que demanda alto consumo de combustíveis e desse modo, afeta diretamente na poluição ambiental (SILVEIRA *et al.*, 2017). Peloia e Milan (2010), por outro lado, indicam que a mecanização agrícola é um dos principais pontos que podem tornar real a redução dos custos de produção. Nesta mesma linha de raciocínio, Siemens e Bowers (1999) apresentaram dados onde os custos com combustíveis representam cerca de 16 a 45% dos custos totais por hora de um trator agrícola.

No presente momento a situação do Brasil no que diz respeito a ensaios e testes em laboratórios dos motores agrícolas encontra-se ultrapassada quando comparada à realidade mundial. O sistema necessita de melhor infraestrutura, mais adequada, bem como de equipamentos que possam realizar tais trabalhos e pesquisas de maneira satisfatória. Somada à falta de demanda material para realização de testes e ensaios, torna-se difícil e debilitada a realidade nacional de pesquisa, sem contar a sazonalidade na produção e vendas internas dessas máquinas (CORREIA *et al.*, 2015).

Com objetivo de analisar a performance operacional de tratores agrícolas, Mialhe (1996) afirma em seu estudo que elementos tais como força de tração, consumo horário de combustível, consumo específico, velocidade e patinagem dos rodados devem ser considerados para validação de compatibilidade entre trator e implemento, bem como para estimar e determinar o melhor implemento para cada tipo de trator.

Para tal, é fundamental que se tenha conhecimento acerca de determinantes como força e potência requisitada pelo motor do trator e a distribuição de peso dentre as rodas de tração, além de considerar o tipo de engate, e condições do solo em questão (ASAE, 2003). Contudo, diversos fatores se encontram atados à demanda de potência, como por exemplo o tipo do solo, teores de água, profundidade e textura, além da complexidade de trabalho bem como velocidade, dentre outros (MONTEIRO *et al.* 2013).

De acordo com Grisso *et al.* (2014) a fim de garantir a máxima eficiência operacional do trator, seu motor deve ser operado próximo de sua capacidade nominal. No entanto, diversas operações no campo, como plantio direto por exemplo, não requerem uma potência total do trator. Segundo Fiorese *et al.* (2015) um maior consumo de combustível nos motores agrícolas é atingido próximo à rotação de potência máxima com o acelerador totalmente acionado.

Correia *et al.* (2015) avaliaram a performance operacional de uma grade aradora, utilizada em solo argiloso, utilizando três diferentes rotações do motor, 1500, 1800 e 2100 rpm. Isso foi realizado operando na marcha B1, e foram avaliadas as velocidades de trabalho alcançadas, além da capacidade de campo efetiva, do consumo operacional de combustível,

da profundidade de trabalho da grade, da patinação dos rodados do trator, da força de tração requerida e da potência na barragem de tração. Os resultados obtidos neste estudo indicam que a maior rotação de trabalho proporcionou menor consumo de combustível e maior capacidade de campo. Em contrapartida, o aumento da rotação de trabalho proporcionou redução da profundidade de trabalho dos discos da grade.

Dentro do contexto dos motores de trator, o que mais se encontra nos mercados são os motores que possuem no máximo rotações inferiores a 1.500 rpm. Consideradas essas rotações insuficientes para que a reserva de torque aumente, o consumo do combustível desses tratores passa a aumentar gradativamente (ALMEIDA *et al.*, 2010).

De acordo com Silveira *et al.* (2013) o motor é definido como a parte mais complexa de um trator agrícola, dessa forma necessita de um estudo mais detalhado e demanda atenção especial. Entende-se por motor endotérmico (aquele de combustão interna) uma máquina que transformará a energia química do combustível na energia mecânica que é o trabalho exercido pela máquina. Este tipo de motor tem duas subdivisões, os de ciclo Otto e os de ciclo Diesel.

Fundamentado nas pesquisas do engenheiro alemão Rudolphe Diesel, o motor de ignição caracteriza-se por realizar uma pressão constante gerando a combustão do ciclo que veio a tomar o nome do seu inventor (GIACOSA, 1980). Este tipo de motor ainda apresenta um diferencial quando relacionado ao motor de ciclo Otto, no que diz respeito à taxa de compressão onde apresenta-se superior nos motores a diesel.

Segundo Mialhe (1996), saber a quantidade de combustível consumido é um dos aspectos mais importantes da avaliação do rendimento de um motor. O consumo de combustível pode ser expresso em relação ao tempo e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido. O consumo horário geralmente é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração que podem ser expressas em termos ponderais ou volumétrico.

De acordo com Silveira *et al.* (2013), a variação de consumo de combustível, capacidade operacional e características de qualidade da semeadura são alguns dentre vários aspectos que influenciam na velocidade de um determinado trator. A marcha de trabalho de um trator pode influenciar no consumo horário de combustível. E o consumo específico de combustível de acordo com Cortez *et al.* (2008) apresentam menor consumo de combustível por conta de baixas potências e devido ao uso de marchas de velocidades mais baixas. Também verificou que o consumo específico de combustível, quando utilizadas as marchas de maior velocidade demonstrou consumo de combustível superior relacionado ao tempo de realização de operação em uma área específica.

Em diversas regiões do país, o maquinário agrícola tem sua utilização bastante comprometida, em razão da sua falta de adequação às condições de trabalho propostas e efetuadas. Segundo Mantovani, Leplatois e Inamassu (1998), tal fato é comprovado via contato direto com agricultores em campo, em momentos de visita às propriedades agrícolas,

idas ao campo, e outros eventos, como palestras e eventos. De acordo com Mantovani (1987), para que um equipamento seja utilizado de forma racional e correta, é primordial haver o conhecimento do sistema de manejo de solo a que a máquina agrícola será inserida, conhecer as características desejáveis que o solo apresenta, saber sobre a energia consumida e, ainda, possuir noção sobre sua capacidade efetiva de trabalho (ha/h).

A partir deste momento, os problemas relativos à tentativa de melhoria de consumo começam a ser estudados e testados. Porém, como o país possui grande extensão, alta variabilidade de características intrínsecas à agricultura (como tipo de solo, clima e quantidade de chuvas por exemplo), bem como poucos profissionais especializados em assistência técnica, muitos dados foram considerados pontuais e fora do contexto nacional. Ainda, os problemas acabam por possuir suas soluções de maneira totalmente individual, sem que as mesmas chegassem aos fabricantes ou potenciais idealizadores para que tais melhorias se difundissem pelo país (MANTOVANI; LEPLATOIS; INAMASSU, 1998).

A disponibilidade de instrumentação eletrônica a baixo custo, montada diretamente no trator e em seus implementos permite a aquisição automática dos dados. Com isso, propicia-se uma maior facilidade na realização de testes, dados mais precisos medidos em campo, gerando conseqüentemente um aumento na quantidade de testes de campo (MANTOVANI; LEPLATOIS; INAMASSU, 1998). De acordo com Almeida *et. al.*, (2010) e Modolo *et al.*, (2005) um exemplo são as máquinas e implementos disponíveis no mercado, que apresentam tecnologia tanto em forma de ferramentas e implementos quanto na aquisição de dados. Quando utilizadas corretamente, possibilitam melhor produtividade e aumentam a capacidade efetiva e produtiva de trabalho humano.

A Massey Ferguson do Brasil, oficialmente Massey Ferguson Perkins S.A., foi a maior fabricante de tratores do Brasil, ano após ano, desde sua fundação, também na década de 1950, como resultado de um plano governamental brasileiro de incentivo à expansão da indústria de veículos e utilitários no Brasil. O trator Massey Ferguson MF 265 é um utilitário agrícola de tamanho médio e média potência, com sistema hidráulico e tomada de força traseiros para acoplamento / conexão de uma boa variedade de implementos agrícolas traseiros, incluindo colhedoras de forragens de tamanho médio, para cortar e triturar vegetais para forragem e volumoso / silagem, por exemplo, como cana e napier (CUNHA *et al.*, 2012) É um modelo de trator econômico, com sistemas hidráulico, elétrico e mecânico simples e de manutenção fácil e barata. Desta forma este modelo é o mais utilizado em território brasileiro e portanto a escolha para objeto de estudo do presente trabalho.

A fim de aumentar lentamente a velocidade, é comum que o operador eleve a rotação do motor, a fim de causar uma diminuição no torque e, conseqüente, aumento no consumo de

combustível. Segundo Almeida *et al.* (2010), estima-se que a maioria dos motores de tratores, atingem seu torque máximo em rotações menores que 1500 rpm. A partir deste valor, a reserva de torque diminui, a potência requerida na barra de tração passa a aumentar gradativamente, juntamente com o consumo de combustível. Isso se dá à medida que a rotação do motor sem a troca das marchas é aumentada.

A análise energética, segundo Martins *et al.* (2015), visa constituir os fluxos de energia, identificando sua demanda, sua eficiência energética (ganho líquido de energia) e relação de energia convertida/energia consumida. De acordo com Khalil *et al.*, (2017), a eficiência energética é determinada a partir da capacidade de se obter a mesma produção com a menor quantidade de recursos utilizados. Tal eficiência é um requisito fundamental para obtenção de uma produção sustentável, diretamente pertinente às práticas de manejo dentro de seu processo produtivo.

Silveira *et al.* (2013) avaliaram a demanda energética de um conjunto trator semeadora/adubadora em função de diferentes velocidades de deslocamento e de rotações no eixo do motor durante a semeadura do milho. Como resultado, foi observado, com o aumento da velocidade de operação de todo o conjunto, o requerimento de potência na barra de tração aumentou também, juntamente com o consumo horário de combustível. Tal valor, tido como parâmetro de desempenho, pode vir a afetar a produtividade e o consumo de combustível do trator.

Farias *et al.*, (2018) avaliaram tanto a capacidade de campo efetiva quanto o consumo operacional de combustível de um trator agrícola, utilizando diferentes tamanhos de grades e velocidades de trabalho. Os resultados indicaram que a maior

velocidade de operação compensa a menor largura de trabalho, porém trabalhar com grade mais larga e com menor velocidade, proporciona economia de combustível, tornando a operação de gradagem mais eficiente economicamente.

Segundo Shafaei (2018), conhecer a eficiência do trator agrícola é útil a fim de determinar a eficiência energética do motor em questão. Ainda, possuir tal conhecimento também auxilia o operador da máquina durante a seleção de lastro para que a eficiência do trator seja aumentada.

É imprescindível possuir um bom entendimento das principais características de desempenho de um motor agrícola. Desta forma, torna-se possível falar sobre maior rendimento, uma vez que se torna a selecionar adequadamente a rotação do motor e a relação de transmissão na caixa de redução, minimizando o consumo específico de combustível. Consequentemente, os gastos totais e o custo específico por hora-máquina trabalhada do motor são diminuídos (FORASTIERE, 2019).

Uma das principais características de motores agrícolas a diesel é a capacidade de

desenvolvimento de força em rotação (torque), devido às maiores taxas de compressão no próprio motor, quando comparado aos motores movidos a gasolina ou etanol (SERRANO, 2007). Em complemento, os motores movidos a diesel são mais eficientes do que motores a gasolina. Segundo o Departamento Americano de Energia (2003), a eficiência de motores a diesel fica em torno de 45%, contra 30% dos movidos a gasolina.

O torque (T) pode ser descrito conforme a Equação 1. Consequentemente, a potência (P) desenvolvida pelo motor é descrita através da Equação 2, já que a potência descreve a taxa com que o torque é efetivado (HALLIDAY *et al.* 2008):

$$T = F \times d \quad [1]$$

Onde: T = torque (N*m); F = força aplicada (N); d = distância entre o ponto de torque e a aplicação da força (m).

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot \omega}{600 \cdot 1000} \quad [2]$$

Onde: P = potência produzida, (kW); T = torque (N*m); ω = velocidade angular (rpm).

De acordo com Almeida *et al.* (2010), baseados na *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE) (AJIT K. SRIVASTAVA, 2006), foi adotado uma forma alternativa (Equação 4) para o termo 'Consumo Específico de Combustível' (CEC – Equação 3), que avalia a eficiência de motores. O CEC indica a quantidade de combustível necessário para uma dada quantidade de trabalho:

$$CEC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad [3]$$

Onde: CEC = consumo específico de combustível (L/kW*h*m²); \dot{m}_f = taxa de consumo de combustível (kg/h); P = potência produzida, (kW).

Almeida *et al.* (2010) então desmembra a Equação 3 em duas equações, 4 e 5.

$$CHC = \left(\frac{Q}{t}\right) * 3,6 \quad [4]$$

Onde CHC = consumo horário de combustível (L/h); Q = volume consumido no ensaio (mL); t = tempo de ensaio (s).

$$CE = \frac{(D * CHC)}{P} \quad [5]$$

Onde, CE = consumo específico (L/kW*h*m²); D = densidade de combustível em função da temperatura (g*kW /h).

Na Equação 5, é necessário dar atenção à densidade do combustível, já que ela varia de acordo com a temperatura de operação. Sendo assim, a Equação 6 avalia a variação de densidade do combustível diesel de 25°C a 70°C (LOPES *et al.*, 2003). Por meio de regressão (R²=0,9946), os autores avaliaram a variação, utilizando intervalos de 5°C entre os pontos.

$$D = 863,22 - 0,72T \quad [6]$$

Onde D = densidade do combustível em função da temperatura (g/L); T = temperatura do combustível (°C).

Com isso, o termo 'consumo específico' pode ser utilizado representando qual a eficiência obtida na transferência de energia química do diesel para energia mecânica disponível para trabalho na TDP, de acordo com as características do ensaio a ser realizado.

Serrano (2007) trata a eficiência do motor de um trator agrícola como a relação entre o rendimento da transformação da energia, sob a forma de combustível, fornecida ao motor por unidade de tempo com a potência na barra. Tal rendimento, global, abarca o rendimento do motor, o rendimento mecânico da transmissão (entre o motor e as rodas), além do rendimento de tração dos pneus em interação com o solo (podendo ser representado pela relação entre o consumo de combustível por hectare e a resistência que o implemento encontra no solo, por unidade de largura de trabalho).

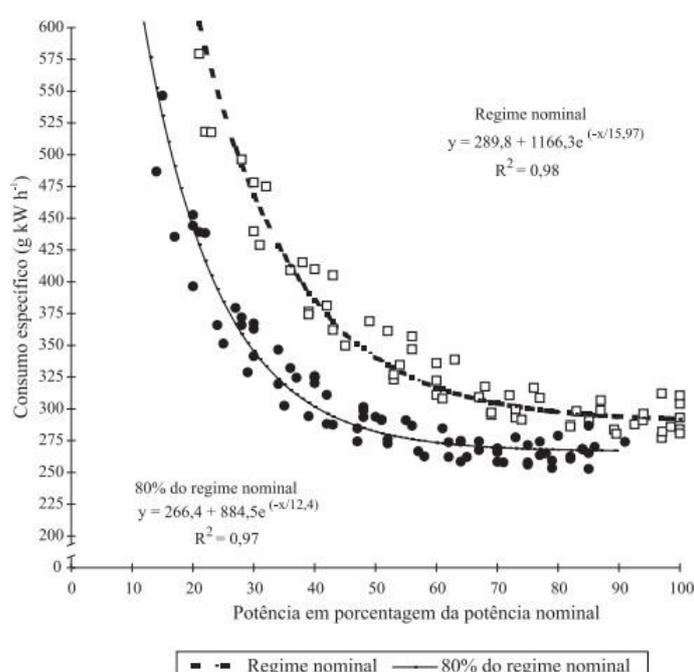
O mesmo autor comprovou o benefício de 10 a 15% a menos no consumo de combustível em um regime de 70 a 80% do regime nominal do motor. Tal vantagem se demonstra nos resultados dos ensaios à tomada de potência, dispostos na Figura

1. O consumo específico é um parâmetro pouco variável, em regime semelhante de funcionamento do motor. Possui um grau de utilização da potência disponível supra 60%, da mesma forma que acontece nos trabalhos de tração.

Assim, em operações agrícolas, principalmente as de mobilização de solo, que demandam o maior custo energético de tratores, pode-se esperar resultados de consumo específico do motor como cerca de 265 g/kWh em regime de cerca de 80% do regime nominal, a funcionar em condições que não exigem toda a potência do trator ou quando se procura otimizar o consumo de combustível, sem comprometer a capacidade de trabalho. Também, cerca de 300 g/kWh em regime nominal, em ocasiões que exijam muita potência, ou quando se pretende otimizar a capacidade de trabalho com uma menor eficácia em consumo de combustível (SERRANO, 2007).

A manutenção desses sistemas exige redução importante dos custos financeiros de produção das culturas agrícolas, principalmente relacionados ao consumo de combustível. Além de planejar corretamente o dimensionamento do conjunto trator-implemento para uma determinada operação agrícola, é fundamental escolher o momento adequado para intervir no solo, garantindo regulagens ideais do motor e da relação de transmissão dos tratores, principalmente (SERRANO, 2007).

Figura 1. Consumo específico de trator Massey Ferguson em função do grau de utilização da potência nominal, em regimes nominal e a 80% do mesmo.



Fonte: Serrano, (2007).

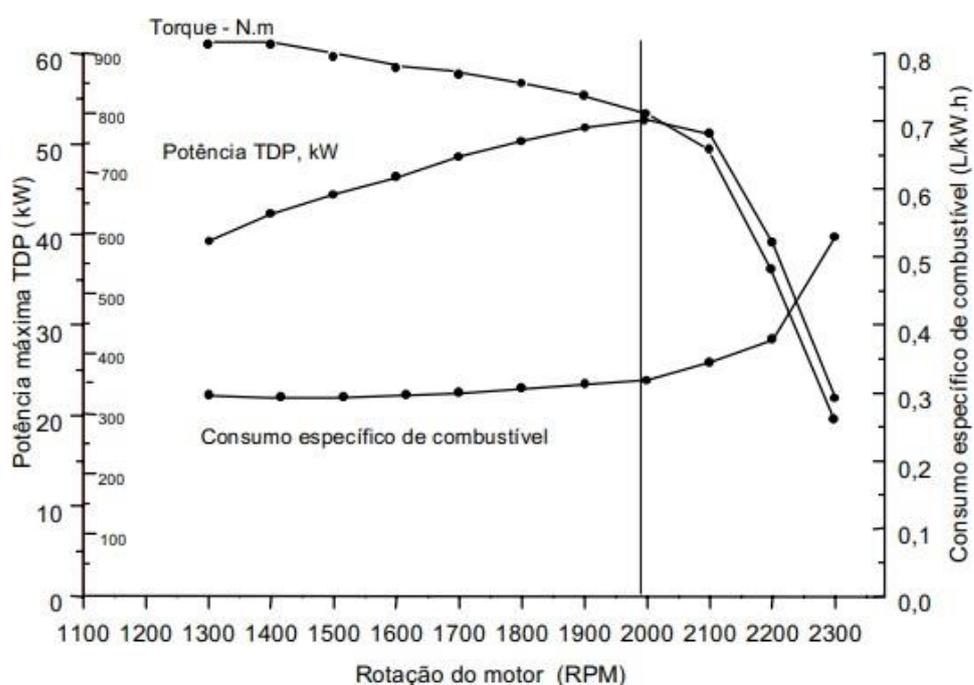
Forastiere (2019), em seu estudo para avaliar o desempenho operacional de um trator, concluiu que as marchas e as rotações do motor testadas (marchas 2R, 3Re 4R; e rotações 1600, 1800, 2000 e 2200 rpm) influenciaram na demanda energética, no custo com combustível, bem como na qualidade de semeadura do conjunto trator-semeadora-adubadora, sem afetar a produtividade da cultura da soja.

Ainda, o autor informou que a menor demanda energética foi encontrada na marcha com maior relação de transmissão (4R) juntamente com a menor rotação do motor (1600 rpm), causando assim, conseqüentemente, um menor custo com combustível. Esta combinação ainda contribuiu para uma melhor distribuição longitudinal de sementes, um maior índice de velocidade de emergência de plântulas e menor tempo médio de emergência de plântulas. Assim, percebe-se que a produtividade não foi alterada, porém os parâmetros culturais foram

melhorados (FORASTIERE, 2019).

Mantovani, Leplatois e Inamassu (1998), ao realizar testes em motores de tratores agrícolas, trabalhando a rotações de 1300 a 2300 rpm, chegaram nas curvas obtidas na Figura 2. Segundo os autores, tal gráfico oferece uma boa informação acerca do conjunto trator-implemento para a escolha da faixa de rotação do motor em questão.

Figura 2. Curva de desempenho do trator Massey Ferguson MF292 Turbo.

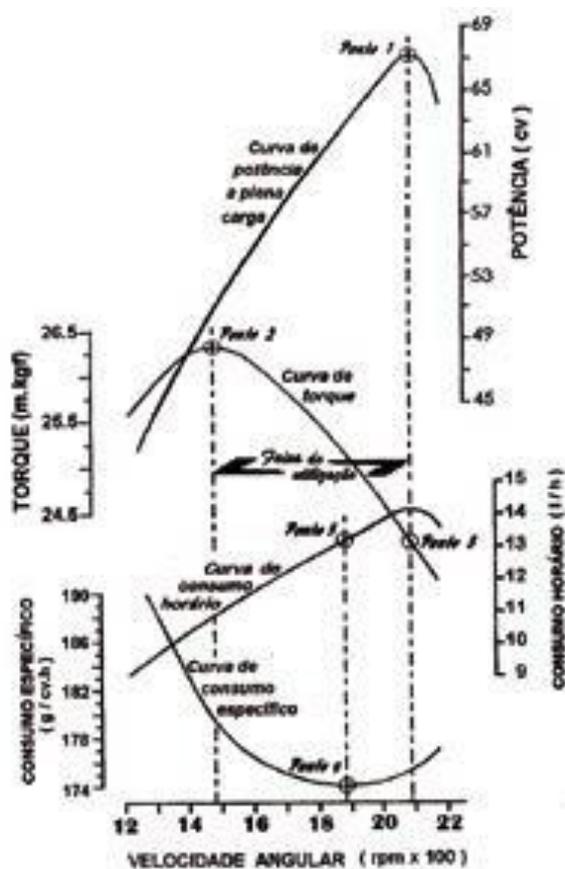


Fonte: Mantovani, Leplatois e Inamassu, (1998).

Juntamente com tal gráfico, é possível obter também relatórios de avaliação completos, de forma demasiadamente rápida. Estes relatórios podem servir como recomendação para usuários deste tipo de maquinário, além de poder ser enviado às fabricantes para analisar as qualidades e problemas de seus tratores e motores (MANTOVANI; LEPLATOIS; INAMASSU, 1998). Os autores ainda destacam a importância sobre a correta e constante calibração da instrumentação utilizada neste tipo de ensaio.

Frantz *et al.*, (2014) afirmam que o desempenho de um motor a diesel pode ser conhecido através destes gráficos, que possuem três curvas essenciais que auxiliam na ilustração das principais características de desempenho do motor. Estas curvas são as curvas de torque, de potência e de consumo específico de combustível. Novamente, tais curvas podem ser analisadas via Figura 3.

Figura 3. Curvas características de desempenho de um motor diesel e os principais pontos caracterizadores do funcionamento a plena carga



Fonte: Mialhe, (1996).

A realização deste tipo de ensaio em tratores agrícolas reflete a grand realidade que acomete a execução de várias tarefas agrícolas. Pode-se então constatar que, durante o trabalho em campo, é comum o surgimento de dúvidas referentes às diferenças de parâmetros no torque e na potência em alguns modelos de máquinas agrícolas, seja comparando os dados fornecidos pelo fabricante ou então em relação a outros tratores, com mesma marca e até modelo. Tais diferenças durante o desempenho do trator agrícola podem refletir inúmeros fatores, como o amaciamento de maneira errada do motor sob condições de orientação estabelecidas pelo fabricante, para determinado tipo de equipamento (FRANTZ *et al.*, 2014).

Segundo Obert (1971), a potência de atrito é complexa de se determinar experimentalmente uma vez que não se consegue medi-la de forma direta, além da potência variar bastante quando se considera as condições de funcionamento do motor. Vale lembrar que potência reduzida e potência corrigida são coisas distintas. Onde a primeira se refere aos resultados reais do desempenho do motor colhidos dos cálculos realizados com base na

potência observada. Já a potência corrigida diz respeito às correções realizadas por conta da calibração dos instrumentos de medição.

De acordo com Márquez (2012), o número de cilindros, juntamente com o diâmetro e pressão média apresentada no cilindro são fatores que constata o que se chama de resistência máxima que um motor pode alcançar. Tal característica é primária na determinação que um motor pode exercer gerando força de rotação no volante do virabrequim, adequando-se às variações das forças externas, e também é conhecido como torque.

Márquez (2012) ainda explica que o torque pode ser avaliado e aferido por intermédio de freios dinamométricos, uma vez que o torque é classificado como a resistência ao movimento de um determinado eixo, ele pode ser designado como o produto da força gerada pela distância (que vai do eixo à força aplicada). O sistema internacional preconiza a utilização da unidade de medida Newton (N) para se medir a força, dessa forma para se medir torque mede-se em Newtons-metro (Nm), podendo também utilizar a medida de quilograma (kg) para força e metros (m) para distância.

Um terceiro atributo de avaliação do desempenho de um motor de trator agrícola que Márquez (2012) cita é a realização de medição desse motor na sua faixa de utilização considerada como plena carga. Tal faixa é restringida pelas rotações de torque máximo junto à potência máxima. Exemplificando, caso tais valores analisados transcorrerem entre 1400 e 2200 rpm, a faixa de utilização desse motor seria de 800rpm.

Assim, destaca-se a importância da realização de ensaios como o aqui proposto. Ainda, ratifica-se a importância da escolha correta das normas de orientação da adequada seleção de equipamento a ser utilizado em cada operação agrícola.

4. METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico utilizando bases dedados como a Web of Science, Scopus e Scielo. As palavras-chave utilizadas foram máquinas agrícolas, consumo específico e faixas de operação.

Para os ensaios, a NBR ISO 1585 (1996) regulamenta um fator α para correção da potência, a fim de corrigir os dados para as condições atmosféricas de referência (temperatura de 25°C e pressão seca de 99 kPa) e assim poder gerar comparações de valores. Tal norma é destinada a motores em bancadas e para potência líquida. Neste caso específico, foi utilizada para padronizar os valores encontrados, e assim poder ser comparado. Tal fator entra na Equação 1, descrita abaixo.

$$P_{ref} = \alpha * P_y \quad (1)$$

Onde: P_{ref} =potência corrigida (kW), α =fator de correção; P_y =potência média observada (kW).

No caso do presente estudo, o α utilizado é conhecido como α_c , pois o motor utilizado é de ignição por compressão. Este fator é calculado de acordo com a Equação 2. O fator atmosférico de tal equação inclui o efeito causado pela pressão, pela temperatura e pela umidade ao ar utilizado pelo motor. Tal fator é calculado de acordo com a Equação 3. Já o parâmetro característico de cada motor, que também compõe o equacionamento do fator de correção, é obtido através da Equação 4 onde a vazão corrigida q_c é definida pela Equação 5.

$$\alpha_c = (f_a) f_m; \quad 0,9 \leq \alpha_c \leq 1,1 \quad (2)$$

Onde: α_c =fator de correção para motores de ignição por compressão, f_a =fator atmosférico; f_m =parâmetro característico de cada motor.

$$f_a = (99/p_d) * (T/298)^{0,7} \quad (3)$$

Onde: p_d =pressão seca (kPa); T =temperatura absoluta do ar de admissão (K).

$$f_m = 0,036 \cdot q_c^{-1,14} \quad (4)$$

Onde: q_c = vazão corrigida de combustível [mg/(L*ciclo)].

$$q_c = (Z \cdot \text{consumo do combustível [g/s]} / (\text{deslocamento [L]}))$$

$$q_c = \frac{Z \cdot (\text{vazão de combustível em } g/s)}{(\text{deslocamento do motor em L}) \cdot (\text{rotação do motor em } \text{min}^{-1})} \cdot \frac{1}{r} \quad (5)$$

Onde: $Z=120000$ para motores de quatro tempos; r = relação entre pressão estática absoluta na saída do sobrealimentador ($r=1$ para motores de aspiração natural).

Calculou-se a pressão seca (p_d) partir dos valores de pressão, temperatura e umidade atmosféricas. Com esse valor, foi possível calcular o fator atmosférico. A partir dos dados obtidos, foi possível calcular os fatores de correção da potência dos ensaios.

O torque foi calculado a partir da força gerada na célula de carga do dinamômetro multiplicado pelo braço de torque (equação 6). Já a potência desenvolvida pelo motor foi calculada a partir da equação 7 abaixo.

$$T = F \cdot d \quad (6)$$

$$P = (2 \cdot \pi \cdot T \cdot \omega) / (60 \cdot 1000) \quad (7)$$

Onde: T = torque (N.m); F = força (N); d = distância/braço de torque (m); ω = velocidade angular (rpm); P = potência produzida (kW).

Com a potência produzida e o fator α para a correção desta, foi possível calcular a potência corrigida, juntamente com o torque corrigido, uma vez que ambos estão relacionados.

A densidade do combustível varia juntamente com a temperatura de operação no fluido, sendo assim, foi utilizada a equação 8 obtida por LOPES et al. (2003) para calcular a densidade de cada ensaio.

$$D = 863,22 - 0,72T \quad (8)$$

Onde: D = densidade do combustível em função da temperatura (g L⁻¹); T = temperatura do combustível (°C); R² = coeficiente de determinação da regressão, 0,9946.

Com o volume do combustível gasto e o tempo de cada ensaio, foi possível calcular o consumo horário:

$$\text{Consumo horário (L/h)} = V / T \quad (9)$$

Onde: V = volume (L); T = tempo (h).

Já o consumo específico foi calculado a partir da equação:

$$\text{Consumo específico (g/kW*h)} = m.c / (P*T) \quad (10)$$

Onde: m.c = massa combustível consumida (g).

O ensaio que obteve a máxima potência será definido o valor de rotação nominal, e também o torque nominal.

Montagem dos Equipamentos

Foi montado um arranjo de instrumentação para coleta de dados para obtenção da potência, torque e consumo de combustível do trator Massey Ferguson modelo MF 265 conforme Figura 1.

Figura 1: trator Massey Ferguson modelo MF 265



Fonte: <https://www.tratorescolheitadeiras.com.br/>

Para mensurar a força do dinamômetro de freio hidráulico modelo AW NEBRASKA 400® (Figura 2) no braço de 0,33m de reação, introduziu-se a ele uma célula de carga da VINCERE DO BRASIL® modelo ST-500 (Figuras 3 e 4). O sensor de velocidade de rotação RED LION® modelo MP62TA (Figura 5) acoplado no dinamômetro gerou os dados de rotação essenciais para calcular o torque e potência do trator. Através do tacômetro, coletou-se a relação de transmissão entre o motor e a tomada de potência do trator (TDP), para obtenção da rotação do motor a partir do levantamento da rotação da TDP.

Figura 2: dinamômetro de freio hidráulico modelo AW NEBRASKA 400®



Fonte: Própria autora.

Figura 3: Célula de carga da VINCERE DO BRASIL® modelo ST-500 frente



Figura 4: Célula de carga da VINCERE DO BRASIL® modelo ST-500



Figura 5: sensor de velocidade de rotação RED LION® modelo MP62TA



Fonte: <https://www.digikey.com.br/pt/products/detail/red-lion-controls/MP62TA00/3595845>

O consumo de combustível foi determinado a partir de um becker calibrado sob uma célula de carga da R&S (Figura 6). Neste becker, havia uma entrada para a alimentação da bomba injetora e outra para o retorno do diesel, que não era utilizado nos bicos injetores do trator (assim, somente os dados do diesel consumido foram levantados). Instalou-se também um sensor de temperatura para coleta da temperatura do combustível dentro neste becker.

Foi fixado próximo da chaminé de admissão de ar do motor um sensor de temperatura que coletava a temperatura de entrada do ar e um sensor baro/termo/higrométrico. Este informava a pressão, temperatura e umidade atmosférica.

Utilizou-se ainda um condicionador de sinal QUANTUM X® e software de captação de dados CATMAN® (Figura 7). Neste, foram criados canais para a coleta de dados para cada sensor do arranjo de instrumentação.

Figura 6: Becker sendo calibrado pelo fluxômetro.



Fonte: Própria autora.

Figura 7: Condicionador de Sinal e Software de captação de dados CATMAN



Fonte: https://www.hbm.com/pt/2128/quantumx-sistema-de-aquisicao-de-dados-compacto-universal/?product_type_no=Sistema%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados%20QuantumX.

Todas as células de carga foram testadas e calibradas utilizando pesos-padrões, juntamente com o software CATMAN. Ao verificar as condições atuais do trator, foi necessária uma manutenção devido ao estado do trator, principalmente no filtro de ar, que estava muito sujo.

Coleta de Dados

Para conhecer a eficiência energética e comparar os diversos modelos, foi necessário basear-se em ensaios normalizados. Os únicos ensaios realizados na maioria das estações mundiais são estabelecidos pelos códigos OECD (Códigos – Padrão para testes oficiais de tratores agrícolas e florestais). Os procedimentos experimentais deste projeto seguirão as normas do código 2 da empresa OECD e a NBR ISO 1585 (1996). A primeira norma (OECD, 2017) estabelece que a potência disponível na Tomada de Potência (TDP) é a potência líquida. Isso significa que é na TDP que o processo de transmissão de potência é finalizado, tendo ali, toda a potência líquida disponível para a atividade.

O motor do trator ficou ligado por um período de aproximadamente 1 hora, a fim de estabilizar a potência, conforme a NBR ISO 1585 (1996). Feito isto, posicionou-se o arranjo de instrumentação e acoplou-se o dinamômetro na TDP do trator. A partir do máximo de débito da bomba do motor do trator, foi introduzida uma força resistente gerada no dinamômetro, em subsequentes ensaios com intervalos de 50 rpm de rotação da TDP. Com isso, foram obtidos variados pontos de força e rotação, e estes dados foram transmitidos para o software CATMAN.

Ainda, a temperatura de admissão do ar ambiente no motor também foi mensurada a até 15 cm a montante do conduto de admissão. Os dados foram mensurados somente após ser constatada a constância mínima de 1 minuto, de temperatura, torque, rotação (mantendo-se no desvio máximo de $\pm 1\%$ ou $\pm 10 \text{ min}^{-1}$; a que for maior). O torque foi calculado a partir da célula de carga que mede a força do dinamômetro no braço de 0,33m de reação.

Figura 8: Realização dos ensaios.



Fonte: Própria autora.

Figura 9: Captação de dados.



Fonte: Própria autora

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi construída uma planilha com os dados coletados, na qual foi calculada a média, máxima, mínima, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados obtidos durante os ensaios, no qual gravou-se aproximadamente 3000 pontos em cada intervalo de 1 minuto. Deveríamos ter colocado um intervalo de tempo maior, pois muito ponto em um intervalo pequeno de dados gera ruídos.

Tabela 1. Dados calculados dos 9 ensaios pelo software CATMAN.

Ensaio 1	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		0.39	30.60	1320.54	27.88	705.41	-118.51
Máxima	155.36	0.41	31.25	1426.20	28.12	659.09	-113.07
Mínima		0.37	30.08	1215.20	27.61	651.09	-123.53
Desvio Padrão		0.00	0.32	60.73	0.13	1.57	1.43
Coeficiente de Variação [%]		0.01	0.01	0.05	0.00	0.00	-0.01
Consumo de Combustível	1.36 g/s						
Ensaio 2	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		1,79	32,89	871,70	28,52	657,01	-544,21
Máxima	76,02	1,85	33,26	979,50	29,25	612,51	-523,55
Mínima		1,72	32,55	763,41	28,11	602,49	-565,06
Desvio Padrão		0,02	0,23	62,09	0,38	1,93	6,92
Coeficiente de Variação [%]		1,27	0,69	7,12	1,34	0,32	-1,27
Consumo de Combustível	2,84 g/s						
Ensaio 3	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,08	32,69	1439,23	29,58	673,10	-633,66
Máxima	77,22	2,14	33,25	1546,40	29,87	804,65	-607,30
Mínima		1,99	32,17	1332,60	29,16	523,85	-653,51
Desvio Padrão		0,02	0,33	61,17	0,18	50,85	7,51
Coeficiente de Variação [%]		0,01	0,01	0,04	0,01	0,08	-0,01

Consumo de Combustível							
	2,77 g/s						
Ensaio 4	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,16	36,14	926,49	28,47	530,02	-659,40
Máxima	82,04	2,23	37,76	1031,90	29,22	512,22	-637,18
Mínima		2,09	34,78	822,56	28,18	472,93	-680,45
Desvio Padrão		0,03	0,75	60,49	0,30	2,96	7,78
Coefficiente de Variação [%]		0,01	0,02	0,07	0,01	0,01	-0,01
Consumo de Combustível							
	2,55 g/s						
Ensaio 5	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,22	32,90	1805,94	29,06	475,30	-677,17
Máxima	96,46	2,29	33,50	1919,50	29,77	431,54	-652,41
Mínima		2,14	32,24	1694,60	28,09	419,59	-696,52
Desvio Padrão		0,03	0,39	64,45	0,64	1,95	8,44
Coefficiente de Variação [%]		0,01	0,01	0,04	0,02	0,00	-0,01
Consumo de Combustível							
	2,33 g/s						
Ensaio 6	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,26	35,98	1366,21	28,84	438,47	-687,81
Máxima	104,32	2,33	36,96	1480,30	29,44	396,16	-664,68
Mínima		2,18	35,20	1252,30	28,19	381,13	-708,60
Desvio Padrão		0,03	0,54	65,44	0,28	2,27	8,76
Coefficiente de Variação [%]		0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	-0,01
Consumo de Combustível							
	2,19 g/s						
Ensaio 7	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,29	33,30	2009,71	28,32	386,55	-697,92
Máxima	106,54	2,35	34,24	2114,50	28,67	346,30	-674,99
Mínima		2,22	32,59	1904,20	28,12	324,78	-716,36

Desvio Padrão		0,03	0,41	60,15	0,15	3,94	9,45
Coeficiente de Variação [%]		0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	-0,01
Consumo de Combustível	1,97 g/s						
Ensaio 8	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,29	35,71	1676,93	28,23	334,90	-698,22
Máxima	124,76	2,36	36,59	1784,40	28,64	312,94	-674,05
Mínima		2,21	34,99	1569,10	27,81	277,30	-719,16
Desvio Padrão		0,03	0,43	62,24	0,27	2,81	10,22
Coeficiente de Variação [%]		0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	-0,01
Consumo de Combustível	1,73 g/s						
Ensaio 9	tempo [s]	CCD [kN]	Temp. Combustível [°C]	CCC [g]	TAA [°C]	Rotação [rpm]	Torque [N.m]
Média		2,20	38,39	1349,05	28,85	276,17	-670,82
Máxima	143,76	2,28	39,54	1453,00	29,63	260,68	-642,09
Mínima		2,11	37,71	1243,20	28,19	219,08	-695,62
Desvio Padrão		0,04	0,57	60,36	0,46	2,89	10,98
Coeficiente de Variação [%]		0,02	0,01	0,04	0,02	0,01	-0,02
Consumo de Combustível	1,46 g/s						

Fonte: Elaborada pela autora.

CCD= célula de carga do dinamômetro; CCC= célula de carga do combustível, TAA= temperatura de admissão do ar.

Os valores referentes ao torque estão negativos, pois a força gerada no dinamômetro é de compressão. Nota-se as baixas variações dos dados coletados, mostrando a estabilidade do sistema de aquisição. Utilizou-se os valores da média decada ensaio a fim de obter maior precisão nos resultados.

O consumo de combustível por unidade de tempo foi calculado subtraindo o máximo valor com o mínimo valor da célula de carga do combustível e posteriormente dividindo pelo tempo máximo do ensaio.

A partir dos cálculos citados acima, foi elaborada a tabela 2. Com estes dados, foi possível traçar as curvas de potência, torque, consumo horário e consumo específico do motor do trator em análise.

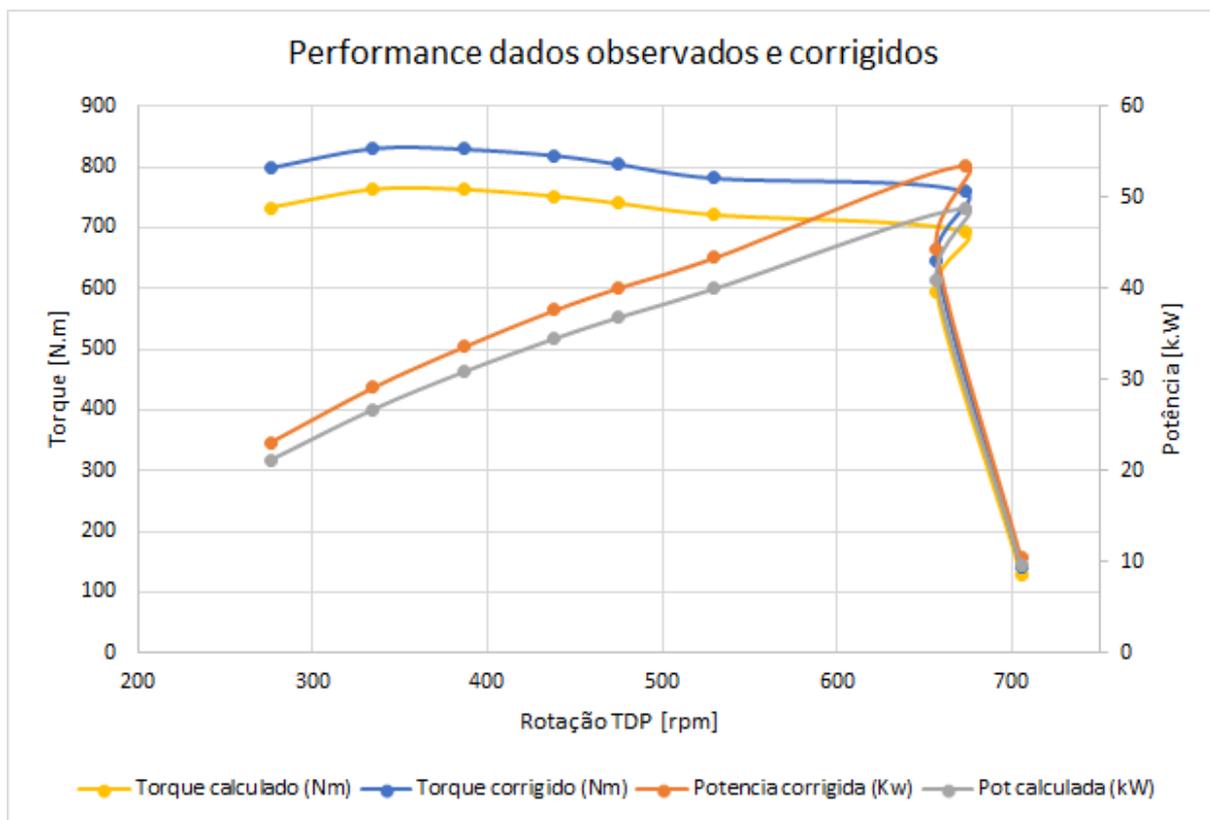
Tabela 2. Dados calculados para a obtenção da curva de desempenho dos 9 ensaios.

Pontos observados	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rotação - TDP	rpm	705.4	657.1	673.1	530.02	475.3	438.47	386.55	334.9	276.17
Torque calculado	N.m	129.47	594.54	692.29	720.49	739.82	751.45	762.49	762.82	732.89
Potência	kW	9.6	40.9	48.8	40	36.8	34.5	30.9	26.8	21.2
Umidade	%	42.00	42.00	39.00	35.00	35.00	34.00	33.00	33.00	33.00
Temperatura Bulbo Seco	°C	26.5	26.8	27.3	28	28.4	28.7	28.6	28.6	28.3
Barômetro	mbar	944	944	944	941	944	944	944	944	944
Temperatura de admissão	°C	27.87	28.51	29.58	28.47	29.06	28.84	28.32	28.23	28.85
Temperatura do Combustível	°C	30.59	32.89	32.68	36.14	32.9	35.97	33.3	35.71	38.39
Densidade do Combustível	g/L	841.20	839.54	839.69	837.20	839.53	837.32	839.24	837.51	835.58
Consumo	g/s	1.35	2.84	2.77	2.55	2.33	2.19	1.97	1.73	1.46
Consumo específico	g/kWh	471.2	230.5	186.2	211.7	209.5	209.2	211.6	208.2	227.4
Fator de correção α_C	-	1.09	1.09	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
Pontos corrigidos	Unidad e	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rotação - Motor	rpm	2351.09	2189.81	2243.44	1766.55	1584.17	1461.42	1288.37	1116.22	920.47
Torque	N.m	140.48	645.07	759.44	781.73	804.92	819.08	829.59	830.71	798.85
Potência	kW	10.38	44.39	53.53	43.39	40.06	37.61	33.58	29.13	23.10

Fonte: Elaborada pela autora.

Com os dados de potência calculada e corrigida e torque calculado e corrigido, foi construído o gráfico da figura 10, no qual observamos o efeito do fator de correção recomendado na NBR ISO 1585 (1996). Tal fator aumentou os pontos de torque e potência, devido às condições de temperatura do ambiente do ensaio, que estavam acima da referência, gerando perdas energéticas e conseqüentemente, ocasionando dados subestimados.

Figura 10: Efeito do fator de correção nos dados dos ensaios



Fonte.: Elaborada pela autora.

Nota-se que o fator de correção corrigiu os pontos para as condições de referência sem interferir o comportamento das variáveis dos dados coletados. Ainda na figura 10, observamos as curvas de desempenho do motor do trator, através da demanda de potência, torque, consumo horário e consumo específico. É possível

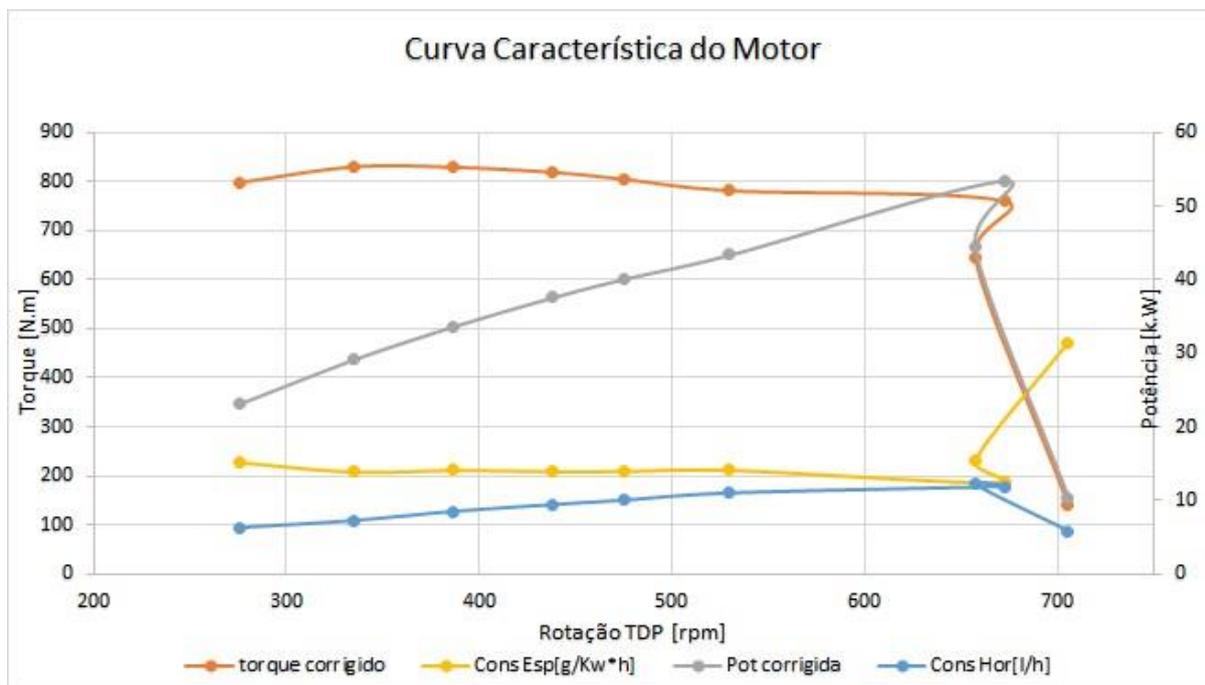
analisar a potência desenvolvida na TDP do trator em detrimento da velocidade de rotação do mesmo, em diferentes faixas de rotação e torque.

Porém, na figura 10, a região próxima e após à máxima potência apresenta pouca exatidão e precisão devido à falta de repetição do ensaio, na qual não foi possível devido ao estado em que o trator se encontrava, muito velho e com bastante desgaste. E também, deveríamos ter coletado mais pontos nesta região crítica, que ocasionou em curvas pouco precisas. O comportamento qualitativo das curvas está adequado, porém não possui precisão na transição. O motivo desta imprecisão é indeterminado, pois só fizemos um único ensaio e com isto não temos dados comparativos para outras calibrações e condições de ensaio.

Nota-se que o fator de correção corrigiu os pontos para as condições de referência sem interferir o comportamento das variáveis dos dados coletados.

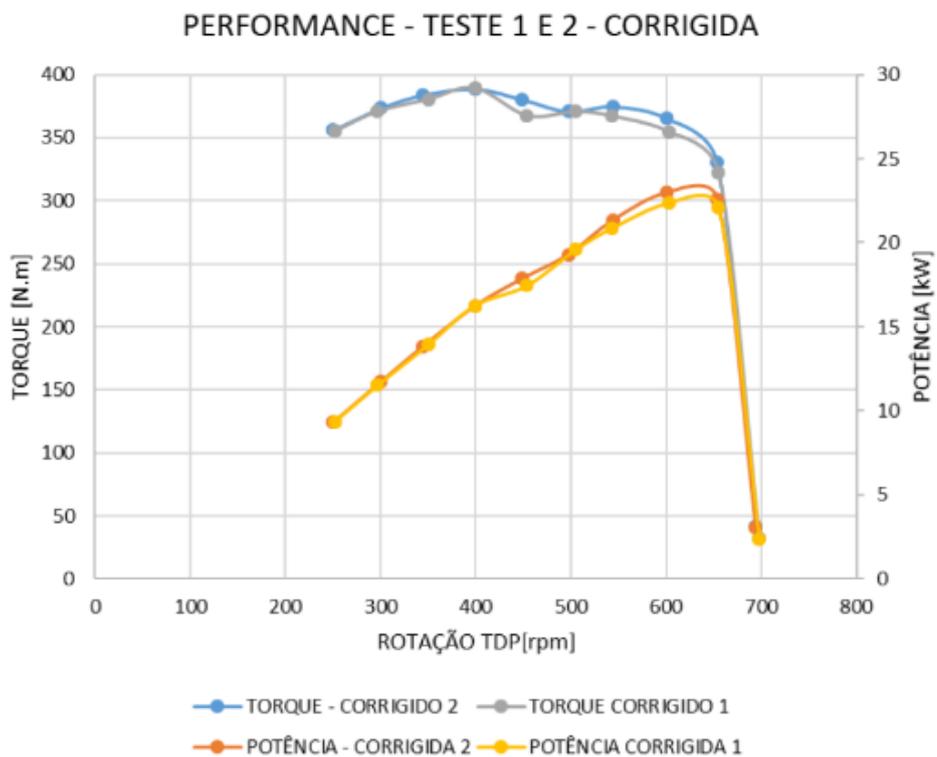
Na figura 11, observamos as curvas de desempenho do motor do trator, através da demanda de potência, torque, consumo horário e consumo específico. É possível analisar a potência desenvolvida na TDP do trator em detrimento da velocidade de rotação do mesmo, em diferentes faixas de rotação e torque. A partir deste gráfico, é possível recomendar a faixa de rotação do motor ideal para este trator, em suas condições atuais. A rotação do motor ideal está na faixa de 2243.44rpm, no qual observou-se a potência máxima atingida pelo trator (tabela 2).

Figura 11. Curva de desempenho do trator Massey Ferguson modelo MF 265.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12. Curva de desempenho do trator Massey Ferguson modelo MF 265.

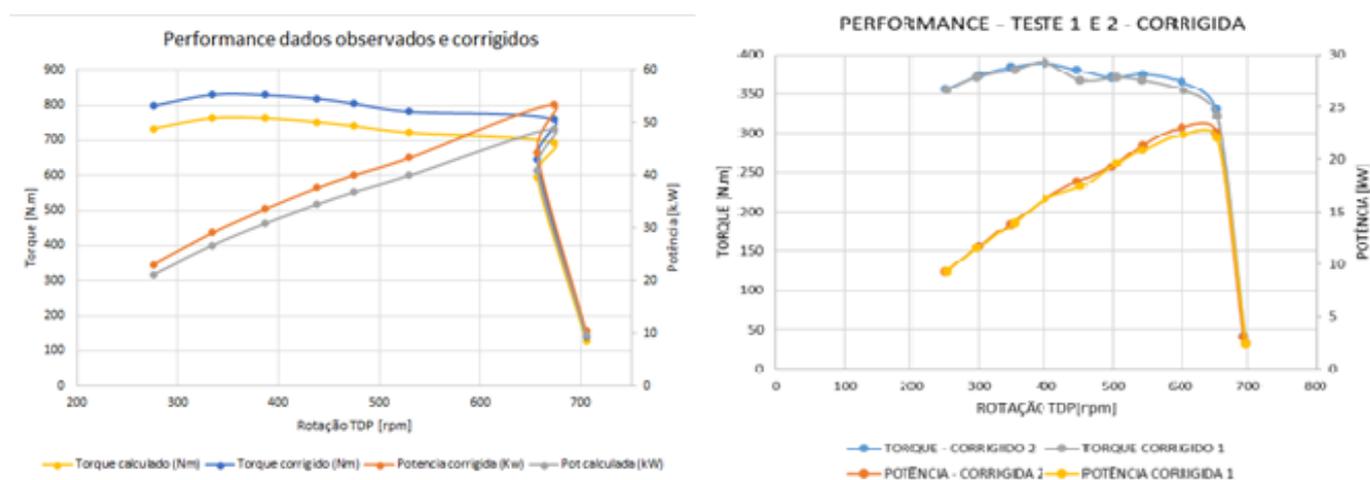


Fonte: Elaborado pelo Gabriel Del Alamo Cardoso de Moraes. Levantamento de curva completa de

motor agrícola. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP, 2017.

Os dados no trabalho de Moraes (2017), representado na figura 12, foram obtidos com o mesmo trator MF 265 e também aplicou-se a mesma metodologia. Nota-se que os dados obtidos na figura 10 estão próximo ao esperado e é possível observar a aferição entre os dois gráficos. O comportamento do fator de correção foram semelhantes, ou seja, corrigiu os pontos para as condições de referencia e não interferiu no comportamento do gráfico.

Figura 13. Figura 10 e 12.



6. CONCLUSÕES

Conforme apresentado no decorrer do projeto, a aplicação da norma para a condução dos ensaios, bem como para retificação dos dados coletados, foi seguida, porém, devido às dificuldades relacionadas ao estado do trator que utilizamos para os testes, por se tratar de um trator velho não foi possível forçar seu motor ao máximo nem mesmo pelo tempo de 2 horas sem que o mesmo falhasse, desta forma o gráfico de desempenho do motor não ficou com as curvas precisas, pois não foi possível fazer repetições do ensaio, que são exigidas pela norma OECD (2017). Reiterando que a simetria das curvas está adequada, porém o trator utilizado apresentou um pico/curva nos gráficos analisados o que pode ter sido falha de calibração dentre outros problemas.

Na tentativa de se equiparar os resultados dos ensaios realizados para verificar a potência de um determinado motor em variadas condições atmosféricas, se faz necessário desfrutar de condições que permitam reproduzir todos os ensaios que foram realizados, obrigando à preestabelecer e firmar condições de referência para que se possa realizar os ensaios, bem como determinar quais procedimentos de correção serão utilizados para que seja possível calcular a potência do motor no caso de haver mudança das condições atmosféricas em relação às condições de referência.

De acordo com Márquez (2012), uma vez que se executa um ensaio de motor, é necessário que se viabilize junto com a potência as condições atmosféricas (temperatura e pressão atmosférica). 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.

Com isto, foi possível construir as curvas de desempenho do motor agrícola do trator MF 265, que nos forneceu dados sobre o motor em questão, e com isto é possível analisar as curvas e trabalhar com as faixas de rotação e torque nas quais o motor apresenta menor consumo de combustível específico e maior potência gerada.

A realização desse tipo de ensaio possibilita rápido diagnóstico do funcionamento dos motores agrícolas e o dinamômetro da faculdade apresenta boas condições de funcionamento para tal ensaio. Além disso, o fluxômetro de massa mostrou-se eficiente para coleta de dados.

7. REFERÊNCIAS

AGRÍCOLA NO PREPARO DO SOLO. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 1, p.39-51, 2011. Não Informado. Disponível em:

<<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/144>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

AJIT K. SRIVASTAVA, A. K.; CARROLLE E. GOERING, C. E.; ROGER P. ROHRBACH, R. P.; DENNIS R. BUCKMASTER, D. R. **Engineering Principles of Agricultural Machines**, Second Edition. second ed. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006.

ALMEIDA, R.A.S.; SILVA, C.A.T.; SILVA, S.L. Desempenho energético de um conjunto trator semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Agrarian**, Dourados, v.3, n.7, p.63-70, 2010. Disponível em:

<<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1086/631>>. Acesso em: 07 abr.2019.

ASAE. D497.4 – **Agricultural machinery management data**. In: Standards 2003. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, p. 373-380. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: Veículos Rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996. 26 p.

CAPPELLI, N. L. **Sistema de informação ao operador do trator agrícola (SITA)**. 1990. 225f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257397/1/Cappelli_NelsonLuis_M.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2019.

COLLI, F. Reserva de Torque. **Cultivar**, Pelotas, p. 05, 2001. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br/disciplinas/Molin/leb332/DesempenhoTrator/Reserva%20de%20Torque%207%20e%208%20-%202001.pdf>>. Acesso em 22 abr. 2019.

- CORREIA, T. P. S.; SOUSA, S. F. G.; TAVARES, L. A. F.; SILVA, P. R. A.; RIQUETTI N. B. Disk harrow operational performance in three engine rotation speeds. **Científica**, v.43, n.3, p.221-225, 2015.
- CUNHA JPAR, et al. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. *Idesia* 30:25-34. 2012.
- DEPARTAMENTO AMERICANO DE ENERGIA. **Diesel Engine**. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, p. 1–2, 2003. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2019.
- FARIAS, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; MARTINI A. T.; BERTOLLO, G. M.; ALVEZ, J. V. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante operação de gradagem, **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 2, p. 213-216, 2018.
- FIGLIARESE, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; FERREIRA, F. M.; SPADIM, E. R.; LANÇAS K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.903–909, 2015.
- FORASTIERE, P. R. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em plantio direto da soja**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.
- FRANTZ, U. G.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S.; NIETIEDT, G. H.; RUSSINI, A. Como quantificar o desempenho de máquinas agrícolas com o uso de bancadas dinamométricas. **Revista Cultivar**. Ano XII, n. 141, 2014.
- GONZAGA A.R. Avaliação de tratores agrícolas para pulverização na cultura do citros. 2020. 120 f. Tese (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, 2020.
- GRISSE, R. D.; KOCHER, M. F.; VAUGHAN, D. H. Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 553– 561, 2004.
- GRISSE, R.; PITMAN, R.; JHON V.; GARY, T. “Gear Up and Throttle Down” to Save Fuel. **Virginia Cooperative Extension**, 2014.
- HALLIDAY, D. **Fundamentos de física, volume 1**: mecânica; tradução e revisão

técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. – 8 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KHALIL, A.; DHEHIBI, B.; KASSAM, S. N.; AW-HASSAN, A. Energy consumption in onion and potato production within the province of El Hajeb (Marrocos): Toward energy use efficiency in commercialized vegetable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 1, 2017.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. a.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 382–386, 2003.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.7, p.1241-1246, jul. 1999.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.52-55, 1987.

MARTINS, F. G. L.; BARBOSA, J. A.; CARVALHO, R. C. S.; VELOSO, A. V.; MARIN, D. B. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energia Agricultura**, vol. 30, n.4, p.418-428, 2015.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, p.722, 1996.

MODOLO, A. J.; SILVA, S. D. L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J. C. M. Da; GNOATTO, E. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora de precisão com diferentes unidades de semeadura. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 3, p. 473–479, 2005.

MONTANHA, G. K. et al. **Consumo de combustível de um trator**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 26, n.1, 2011, p.39-51.

MONTEIRO, L. M.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.70-75, 2013.

MORAES Gabriel Del Alamo Cardoso. **Levantamento de curva completa de motor agrícola**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP, 2017.

OECD -. Code 2 **OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural and**

Forestry Tractor Performance. 2017. Disponível em <<http://www.oecd.org/agriculture/topics/standards-seeds-tractors-forest-fruit-vegetables/>>. Acesso em 22 abr. 2019.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 681– 691, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n4/12.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2019.

PEREIRA Ronan Felipe. **Desenvolvimento, dimensionamento, construção e avaliação do fluxômetro gravimétrico para determinação do consumo de combustível em tratores agrícolas.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP, 2020.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesq. agropec.bras.**, Brasília, v.42, n.7, p.1021-1027, jul. 2007.

SHAFAEI, S. M.; LOGNAVI, M.; KAMGAR, S. An extensive validation of computer simulation frameworks for neural prognostication of tractor tractive efficiency. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155. p. 283-297, 2018.

SIEMENS, J. C; BOWERS. W. W. Machinery management: how to select machinery to fit the real needs of farm managers. **Farm Business Management (FMB) series**, East Moline: John Deere Publishing, 1999.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, p.44-52, 2013.

SILVEIRA, M.; JOSÉ, D. F.; SCHLOSSER, F.; LINARES, P.; PAULO, J. Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, p. 1–7, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160814>>. Acesso em 28 nov. 2019.