

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

Natã Balssan Moura

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
EM TRATORES AGRÍCOLAS COM A OTIMIZAÇÃO DO
DESEMPENHO EM TRAÇÃO**

Santa Maria, RS, Brasil
2022

Natã Balssan Moura

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM
TRATORES AGRÍCOLAS COM A OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM
TRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Linha de Pesquisa em Projeto e Utilização de Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS, Brasil
2022

Moura, Natã Balssan

Estratégias para redução do consumo de combustível em tratores agrícolas com a otimização do desempenho em tração / Natã Balssan Moura.- 2022.

60 p.; 30 cm

Orientador: José Fernando Schlosser

Coorientador: Gilvan Moisés Bertollo

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2022

1. Rotação do motor 2. Consumo específico de combustível
3. Força de tração I. Schlosser, José Fernando II.
Bertollo, Gilvan Moisés III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, NATã BALSSAN MOURA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Natã Balssan Moura

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM
TRATORES AGRÍCOLAS COM A OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM
TRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Linha de Pesquisa em Projeto e Utilização de Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em 26 de Outubro de 2022

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

Gilvan Moisés Bertollo, Dr. (UFSM)

Alexandre Russini, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS, Brasil
2022

Dedico este trabalho aos meus pais e familiares

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e saúde e paz.

Aos meus pais Valcur Zucolotto Moura e Jocelaine Balssan Moura pelo suporte, amor e incentivo em minhas decisões.

Ao Professor Dr. José Fernando Schlosser pela orientação, ensinamentos, incentivos e confiança durante esse período.

Aos colegas, Henrique Rodrigues, Daniela Herzog, Daniel Ciro, Gabriel Aguirre do Laboratório de Agrotecnologia, pelo convívio e companheirismo.

Agradecimento em especial ao Junior Osmari pela parceria e por todo o auxílio durante a execução do experimento.

Ao professor Darí Alves Filho pelo empréstimo da área para a execução do experimento.

Ao professor Enio Marchesan pelo empréstimo da semente utilizada no experimento.

Ao apoio da institucional da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao CNPQ pelo consentimento da bolsa.

RESUMO

ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM TRATORES AGRÍCOLAS COM A OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO EM TRAÇÃO

AUTOR: Natã Balssan Moura

ORIENTADOR: José Fernando Schlosser

O trator é uma das principais máquinas agrícolas utilizadas nas propriedades rurais, desta forma a busca por alternativas que visem a redução do consumo de combustível são muito importantes, uma das formas é utilizando diferentes modos de condução, através da modificação da marcha de deslocamento e da rotação do motor. Deste modo o objetivo do trabalho foi avaliar distintos modos de condução do trator agrícola, buscando redução do consumo de combustível, otimizando o desempenho em tração em operação de campo. Para isso foi conduzido um experimento na Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria - RS na área experimental do Departamento de Bovinocultura de Corte, onde foram utilizados um trator agrícola em operação de semeadura. O delineamento experimental escolhido foi de blocos ao acaso com seis tratamentos correspondentes a combinação de marchas de deslocamento e rotação do motor, sendo (L5 1800 rpm, L5 2000 rpm, L6 1800 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm). As variáveis analisadas foram a velocidade de deslocamento, força de tração, eficiência de tração, consumo horário e específico de combustível, potência na barra de tração e patinamento das rodas motrizes. Os resultados indicaram que com o aumento da marcha de deslocamento e redução da rotação do motor, mantendo a velocidade do trator obteve-se redução no consumo horário de combustível, não influenciando nos resultados de outras variáveis como o consumo específico, patinamento e potência na barra de tração. Para o patinamento das rodas motrizes e a eficiência em tração apresentaram os melhores resultados nos tratamentos com rotação do motor em 2000 rpm. A correlação linear de Pearson demonstra que a velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que interferem nas condições de desempenho do trator.

Palavras-chave: Rotação do motor. Consumo específico de combustível. Força de tração

ABSTRACT

STRATEGIES TO REDUCE FUEL CONSUMPTION IN AGRICULTURAL TRACTORS WITH OPTIMIZATION OF TRACTION PERFORMANCE

AUTHOR: Natã Balssan Moura
ADVISOR: José Fernando Schlosser

The tractor is one of the main agricultural machines used in rural properties, in this way the search for alternatives that aim to reduce fuel consumption is very important, one of the ways is using different driving modes, through the modification of the displacement gear and of engine rotation. Thus, the objective of this work was to evaluate different driving modes of the agricultural tractor, seeking to reduce fuel consumption, optimizing the traction performance in field operation. For this, an experiment was carried out at the Federal University of Santa Maria, in the municipality of Santa Maria - RS, in the experimental area of the Department of Beef Cattle, where an agricultural tractor was used in sowing operation. The experimental design chosen was randomized blocks with six treatments corresponding to the combination of displacement gears and engine rotation, being (L5 1800 rpm, L5 2000 rpm, L6 1800 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm and H2 2000 rpm). The variables analyzed were displacement speed, traction force, traction efficiency, hourly and specific fuel consumption, drawbar power and wheel slip. The results indicated that with the increase of the displacement gear and reduction of the engine rotation, maintaining the speed of the tractor, a reduction in the hourly fuel consumption was obtained, not influencing the results of other variables such as specific consumption, slippage and power at the bar. of traction, for the slip of the driving wheels and the efficiency in traction presented the best results in the treatments with engine rotation in 2000 rpm. Pearson's linear correlation shows that displacement speed is one of the main factors that interfere in tractor performance conditions.

Keywords: Engine wheel. Specific fuel consumption. Tractive force

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Balanço de potência em um trator agrícola para diferentes relações de transmissão.....	18
FIGURA 2 – Área utilizada para realizar o experimento.....	28
FIGURA 3 – Coleta de amostras do solo não destrutiva (a) e destrutiva (b).....	29
FIGURA 4 – Suspendendo a roda do trator (a) e tacômetro no centro do eixo (b).....	31
FIGURA 5 – Pesagem do trator em balanças portátil.....	32
FIGURA 6 – Procedimento para verificação do avanço cinemático: a) Marcação do início da primeira volta do pneu; b) Contagem do número de voltas cinemático; c) Marcação da última volta do rodado; d) Medição da distância percorrida.....	33
FIGURA 7 – Semeadora utilizada no experimento.....	34
FIGURA 8 – Trator instrumentado (a) e datalogger (b).....	35
FIGURA 9 – Sistema de engate e célula de carga.....	35
FIGURA 10 – Roda dentada e sensor indutivo.....	36
FIGURA 11 – Antena de GPS.....	37
FIGURA 12 – Fluxômetro.....	38
FIGURA 13 – Modo de montagem das conexões do fluxômetro.....	38
FIGURA 14 – Consumo horário de combustível em diferentes marchas e rotação do motor.....	46
FIGURA 15 – Correlação de Pearson para as variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ – Patinamento (%), PBT – Potência na barra de tração (kW) e ET – Eficiência em tração.....	47
FIGURA 16 – Componentes principais BIPLLOT para variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT- Força de tração (kN), δ – Patinamento (%), PBT – Potência na barra de tração (kW) e ET- Eficiência em tração.....	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Coeficientes de resistência ao rolamento.....	22
TABELA 2 – Parâmetros físicos do solo e da área experimental.....	27
TABELA 3 – Escalonamento de marchas referente a operação de campo.....	30
TABELA 4 – Relação de transmissão para as marchas utilizadas no experimento.....	31
TABELA 5 – Pesagem do trator, distribuição por eixo e pressão dos pneus.....	32
TABELA 6 – Tratamentos utilizados no experimento.....	39
TABELA 7 – Resumo da análise de variância para as variáveis (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}) CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ – Patinamento (%), PBT – Potência na barra de tração (kW) e ET – Eficiência em tração.....	41
TABELA 8 – Comparação de médias de Scott-Knott para as variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ – Patinamento (%), PBT – Potência na barra de tração (kW) e ET- Eficiência em tração.....	41
TABELA 9 – Comparação de médias de Scott-Knott entre os tratamentos L5 2000 e L6 1800 e entre H2 2000 e L6 1800 para as variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE - Consumo específico (g kW h^{-1}), FT Força de tração (kN), δ – Patinamento (%), PBT – Potência na barra de tração (kW) e ET – Eficiência em tração.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Hipótese	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Trator agrícola	15
2.2	Capacidade de Tração	16
2.3	Potência na barra de tração	17
2.4	Balanco de potência	18
2.4.1	Potência perdida na transmissão	19
2.4.2	Potência perdida pelo patinamento das rodas motrizes	19
2.4.3	Potência perdida pela resistência ao rolamento	20
2.5	Eficiência em tração	22
2.6	Conjuntos mecanizados	22
2.7	Consumo de combustível	23
2.8	Modos de condução de tratores agrícolas e diferentes rotações do motor	24
2.9	Desempenho em tração de tratores agrícolas	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Caracterização do local do experimento	27
3.2	Trator utilizado no experimento	29
3.2.1	Pesagem do trator e distribuição estática de peso	31
3.2.2	Determinação da circunferência de rolamento e avanço cinemático	33
3.3	Semeadora	34
3.4	Instrumentação Eletrônica de aquisição de dados	34
3.4.1	Força de tração	35
3.4.2	Sensor das rodas motrizes	36
3.4.3	Velocidade real do trator	37
3.4.4	Consumo de combustível	37
3.4.5	Patinamento das rodas motrizes	39
3.5	Delineamento experimental e análise estatística	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6	RECOMENDAÇÃO PARA FUTUROS TRABALHOS	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola possui papel fundamental na modernização das atividades e na eficiência dos sistemas agrícolas, proporcionando um incremento da capacidade operacional, atingindo assim um maior número de hectares por hora trabalhada (ALBIERO et al., 2019), possibilitando assim o melhor aproveitamento das janelas de cultivo das culturas agrícolas que podem contribuir com o aumento da produção. A área de cultivo do Brasil para a safra 2022/2023 foi estimada em aproximadamente em 72 milhões de hectares, com produção de 301 milhões de toneladas de grãos para as culturas de verão e 11 milhões de toneladas para as culturas de inverno em uma área de estimada de 3 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Para que seja possível realizar o cultivo de toda a área agrícola do país, diferentes máquinas agrícolas estão disponíveis para o agricultor. Destas, destaca-se a utilização do trator, pois é considerado uma máquina versátil e que na propriedade rural pode ser utilizado de diversas maneiras, sendo uma das principais é a capacidade de exercer tração, por meio da força e potência que é desenvolvida na barra de tração.

A energia consumida pelas máquinas agrícolas para realizar o seu trabalho, é proveniente do óleo Diesel, como combustível mais utilizado, sendo um produto derivado do petróleo e de fonte finita e com os crescentes reajustes nos seus preços, impacta diretamente nos custos de produção da atividade agrícola. Desta maneira, se torna importante avaliar o consumo de combustível das máquinas agrícolas durante as atividades realizadas. Corroborando com Da Silva et al., (2022) descrevem que a mecanização agrícola corresponde de 20% a 28% do custo total de produção na propriedade agrícola durante o cultivo da soja. Os valores podem se alterar dependendo da cultura utilizada e da intensidade do uso da mecanização.

O gasto com combustível pelo trator agrícola, pode ser reduzido quando busca-se melhorias nos processos operacionais (STANGE et al., 1984). Uma delas, conforme relata Kim et al., (2013), consiste em analisar a seleção de marchas durante a operação e a rotação do motor, pois pode apresentar diferentes consumos de combustível quando realizado o mesmo trabalho. Além disso, a velocidade de deslocamento atua em aspectos distintos, como a qualidade da operação, durabilidade dos pneus e sistema de transmissão.

Deste modo, o conhecimento e utilização de diferentes modos de condução e o uso de tecnologias, como as presentes nas transmissões continuamente variável, proporciona de forma automática o gerenciamento da rotação do motor, que de acordo com a velocidade de trabalho vai se ajustando em um ponto que tenha maior eficiência no consumo de combustível. Já em

transmissões manuais a alteração de marchas e rotação do motor é realizada por meio do operador. A utilização destes diferentes modos de condução, tornam-se alternativas que são capazes de reduzir o consumo de combustível, fazendo com que a operação mecanizada se torne mais rentável e sustentável.

Para se obter a máxima otimização da energia que é produzida pelo motor e transmitida para a barra de tração, é importante a realização de estudos que avaliem o desempenho do trator em tração, para que se adquira informações sobre as melhores formas de otimizar o seu desempenho (ALMORIM et., 2009).

1.1 Hipótese

Variando as marchas de deslocamento e regime de rotações do motor, sem prejudicar os parâmetros de tração, pode obter a redução do consumo de combustível pelo trator.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar distintos modos utilização de condução do trator agrícola, buscando a redução no consumo de combustível, otimizando o desempenho em tração em operação de campo.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar os parâmetros de desempenho do trator agrícola em diferentes marchas e rotações do motor:

- i. Através da medida da força de tração, velocidade de deslocamento e consumo horário de combustível.
- ii. Calcular o patinamento das rodas motrizes, potência na barra de tração eficiência em tração e consumo específico de combustível.
- iii. Verificar a correlação entre as variáveis de desempenho em função da variação das marchas de deslocamento e rotações do motor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Trator agrícola

Com a intenção de se obter uma máquina que fosse capaz de realizar a tração de um implemento, visando substituir os animais usados para fazer este trabalho, em 1850 ocorreu a origem desta máquina, e seu nome foi oriundo da combinação de duas palavras provindas do inglês (TRACtion moTOR) motor de tração ou trator (SIMONE et al., 2006).

Nas mais diversas atividades agrícolas que podem ser encontradas nas propriedades rurais, o trator agrícola se torna a principal ferramenta para realizar os mais variados tipos de trabalho devido a sua versatilidade, sendo considerado uma unidade móvel de potência e tração para o uso de diversos implementos (ESTRADA et al., 2016; ASAE, 2003; SCHLOSSER, 2001). Ao longo dos anos, com o desenvolvimento de novas tecnologias, o trator agrícola e os implementos, possibilitaram o desenvolvimento das atividades agrícolas e o avanço tecnológico das propriedades além de garantir maior segurança para o operador durante a execução do trabalho (MONTEIRO et al., 2013).

De acordo com a Organization of Economic Cooperation and Development (OECD, 2016) os tratores são considerados veículos autopropelidos de rodas que apresentam pelo menos dois eixos, projetados para tracionar implementos e também prover a potência necessária para que esses equipamentos possam trabalhar em movimento ou parados. Os tratores podem ser classificados de diversas formas, sendo que Márquez (2012), classifica de acordo com a faixa de potência, onde para os tratores de classe I possuem potência menor ou igual a 22,1 kW, os de classe II de 22, 1 a 51,5 kW, classe III de 51,5 a 73,5 kW, classe IV de 73,5 a 117,7 kW, classe V de 117,7 a 183,9 kW, classe VI de 183,9 a 294,2 kW e classe VII maior ou igual a 294,2 kW.

O motor que equipa os tratores agrícolas, transforma a energia resultante da queima do combustível em trabalho mecânico, e com o sistema de transmissão, se converte em trabalho útil (SCHLOSSER, 1996). Dentre as diversas atividades que o trator pode exercer, a mais utilizada é para fornecer tração aos implementos. De acordo com Mialhe (1980) a tração é definida como a força oriunda entre um dispositivo autopropelido com rodas ou esteiras, capaz de ser suficiente para superar a resistência ao rolamento, o efeito em rampa e deslocar a carga imposta a barra de tração, em determinadas velocidades necessárias para a realização do trabalho.

A barra de tração é o principal meio de utilização da potência do trator que é destinada a ao fornecimento de força, na qual realiza-se a tração de máquinas e equipamentos que necessitam ser deslocados ao longo da área que está sendo realizado o trabalho (MASEIRO et al., 2011). Um dos fatores essenciais a considerar no desempenho em tração, é a superfície de contato do pneu do trator, ou seja, a sua aderência com o solo, pois a interação entre pneu e solo determina as condições de tração desenvolvida pelo trator, como compactação do solo, cobertura, textura e umidade (BARROS, 2012). Também pode ser dependente do peso do trator que é distribuído nos eixos, tamanho dos rodados, pressão interna dos pneus e transferência de peso (ZOZ; GRISSO, 2003).

2.2 Capacidade de Tração

A definição de tração, de acordo com Mialhe (1980), é a força resultante da interação de um dispositivo de autopropulsão, sendo uma roda ou esteira, que são responsáveis por transformar o movimento de rotação do motor em movimento linear útil. Deste modo, os equipamentos que obtém a tração pelo rolamento contínuo destes dispositivos sobre solo, são denominados de rodados.

A capacidade de tração é originária do torque que é disponibilizado aos rodados (GABRIEL FILHO et al, 2010). O motor de combustão interna, de ciclo Diesel equipa a maioria dos modelos de tratores agrícolas, no qual é o responsável por fornecer o torque e a potência através do processo de combustão do combustível (FARIAS e SCHLOSSER, 2018).

O sistema de transmissão de potência do trator, é encarregado por conduzir o torque proveniente do motor aos rodados, através da caixa de câmbio, diferencial e reduções finais. Nessa trajetória, o torque se amplifica devido à redução da velocidade que a caixa de câmbio realiza simultaneamente, e com isso o torque que chega as rodas será multiplicado pela relação da transmissão da marcha que esteja selecionada. (MÁRQUEZ, 2012).

O mesmo autor descreve que nesse processo de redução da rotação do motor até os rodados, ocorrem perdas decorrentes de atrito e outras causas, para todas as transmissões disponíveis, onde que essas perdas podem variar de 7 a 13%. Para o aproveitamento do torque que é desenvolvido nas rodas, é necessário um ponto de apoio para conduzir o trator, neste caso o solo. Segundo Zoz & Grisso (2003) a capacidade de tração é dependente de certo modo do dispositivo de tração, sendo os rodados, tamanho, pressão inteira, carga aplicada, transferência de peso entre outros.

Para que o trator realize a tração do implemento que está acoplado, principalmente na barra de tração é necessário que se tenha máxima aderência dos rodados ao solo, mas isso pode ser reduzido devido ao patinamento dos rodados, motivados pelo teor de umidade, resistência a penetração e condição da superfície do solo (SCHLOSSER, 1996). O autor relata outros fatores que podem estar relacionados, como a lastragem, pressão interna dos pneus e número de pneus do trator.

A força de tração tem que ser capaz de vencer a resistência ao rolamento, que é a resistência oferecida a movimentação do trator, devido ao próprio peso e também a deformação do solo, além de deslocar a carga imposta à barra de tração em diferentes velocidades de trabalho e nas diferentes condições de relevo. (MIALHE, 1980).

2.3 Potência na barra de tração

A definição de potência na barra de tração, é a capacidade de realizar um trabalho em uma unidade de tempo, ou seja, se para a mesma força de tração, se o trabalho for realizado mais rápido, ocorrerá maior demanda em potência quando comparado a realização do mesmo trabalho de forma mais lenta (MÁRQUEZ, 2012). O mesmo autor descreve que ela pode ser determinada pela medição do esforço em tração, utilizando instrumentações eletrônicas de aquisição de dados em tempo real de patinamento, esforço em tração, velocidade de deslocamento, entre outros.

A potência na barra de tração pode ser calculada através da equação¹(1) (DE COBO, 1988):

$$Nb = \frac{Ft \cdot Vr}{3,6} \quad (1)$$

Onde:

Nb: Potência na barra de tração (kW)

Ft: Força de tração na barra (kN)

Vr: Velocidade real de deslocamento (km h⁻¹)

¹ Equação: É definida como uma ferramenta matemática criada a partir de uma igualdade entre valores, nas quais um dos termos não é conhecido. Através de manipulações matemáticas torna-se possível encontrar o valor de uma incógnita (CONCEITO.DE, 2012).

Fórmula: É definida como um meio proposto para executar algo complicado ou resolver um determinado assunto (CONCEITO.DE, 2014).

Uma das principais formas de utilização do trator é tracionando um implemento, máquina ou reboque. Para esse fim, é necessário que a força de tração que seja suficiente para superar as resistências que o equipamento proporciona, sendo realizada em uma determinada velocidade e que seja adequada ao trabalho a ser realizado (MARQUEZ, 1990).

2.4 Balanço de potência

O motor do trator fornece uma determinada potência, e para que ocorra a correta realização do trabalho, tem que haver um equilíbrio entre a potência que é fornecida e a requerida e considerando as perdas de potência pela transmissão, patinamento e resistência ao rolamento, conforme pode ser observada pela equação (2) (LINARES et al., 2006):

$$Nm = Nt + N\delta + Nk + Nb \quad (2)$$

Onde:

Nm: Potência fornecida pelo motor (kW)

Nt: Potência perdida na transmissão (kW)

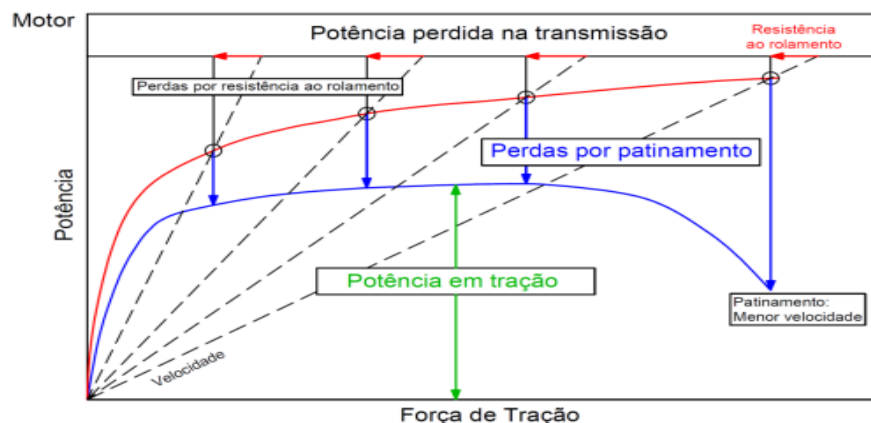
N δ : Potência perdida pelo patinamento (kW)

Nk: Potência perdida para vencer a resistência ao rolamento (kW)

Nb: Potência na barra de tração (kW)

A representação gráfica do balanço de potência, é representada na figura 1 para diferentes relações de transmissão (MÁRQUEZ, 2012).

Figura 1: Balanço de potência em um trator agrícola, para diferentes relações de transmissão.



Fonte: Adaptado de Márquez, 2012

Observa-se que as perdas de potência por patinamento se ampliam conforme ocorre o incremento da força de tração. As perdas por resistência ao rolamento, são maiores nas velocidades de deslocamento mais baixas, considerando que as perdas da transmissão sejam constantes. Pode-se concluir que, quando as perdas por patinamento são semelhantes as perdas por resistência ao rolamento, ocorre um consumo de aproximadamente 50% da potência fornecida pelo motor (MÁRQUEZ, 2012).

2.4.1 Potência perdida na transmissão

A potência perdida na transmissão é considerada a diferença da potência que é fornecida do motor e a que realmente chega até ao eixo das rodas motrizes (LINARES, 2006). As perdas são dependentes do tipo e rendimento da transmissão, que podem ser de 7 a 15% em transmissões convencionais, e nas transmissões hidrostáticas as perdas podem ser maiores (MARQUEZ, 2012). A potência perdida na transmissão, é obtida pela equação (3):

$$N_t = N_m \cdot \eta_t \quad (3)$$

Onde:

N_t : Potência perdida na transmissão do motor (kW)

N_m : Potência fornecida pelo motor (kW)

η_t : Eficiência da transmissão ($\eta_t = 0,93$ a $0,85$)

Sabendo da ocorrência de perdas de potência na transmissão, as pesquisas desenvolvidas, tem se concentrado em determinar estas perdas, nas mais variadas transmissões presentes nos tratores (MOLARI e SEDONI, 2008). Em estudo realizado por Reiter (1991), descreve que dependendo do desempenho do motor e da condição da operação, a eficiência encontrada na transmissão pode variar de 60% a 90%.

2.4.2 Potência perdida pelo patinamento das rodas motrizes

O solo é responsável por fornecer o ponto de apoio aos rodados do trator, através do contato da banda de rodagem dos pneus com o solo. Se suportar a carga aplicada e o torque desenvolvido pelos rodados, resulta no deslocamento do trator, caso contrário ocorre a redução da velocidade pelo patinamento (MÁRQUEZ, 1990). O patinamento é caracterizado pelo falta de aderência entre a superfície da banda de rodagem e o solo, fazendo com que as rodas

motrizes girem gerando pouco ou nenhum avanço sobre as mesmas (GABRIEL FILHO et al., 2010). A potência perdida pelo patinamento, ocorre quando há a redução da velocidade de avanço da roda em relação a velocidade de referência estabelecida, resultando em menor velocidade de trabalho, conforme a equação (4) (LINARES et al., 2006):

$$N\delta = \frac{(Ft \cdot Vt \cdot \delta)}{3,6} \quad (4)$$

Onde:

$N\delta$: Potência perdida pelo patinamento das rodas motrizes (kW).

Ft : Força de tração (kN).

Vt : Velocidade teórica de deslocamento (km h^{-1}).

δ : Patinamento das rodas motrizes.

Para determinar a patinamento das rodas motrizes, é utilizada a equação (5) descrita por Linares et al., (2006):

$$\delta = \frac{Vt - Vr}{Vt} \quad (5)$$

Onde:

δ : Patinamento das rodas motrizes (%)

Vt : Velocidade teórica do eixo dianteiro/traseiro (km h^{-1})

Vr : Velocidade real do eixo dianteiro/traseiro (km h^{-1})

Para ocorrer a tração, é necessário que exista o patinamento, sem ultrapassar determinados limites (LANÇAS e UPADHYAIA, 1997). O melhor desempenho em tração, o patinamento ideal em solos sem mobilização deve ficar entre 8 a 10%, em solos preparados entre 11 a 13% e solos arenosos entre 14 a 16% (ASAE, 2003). Quando os valores estão acima do ideal, há uma perda considerável na potência disponível na barra de tração (JENANE et al., 1996).

2.4.3 Potência perdida pela resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento está relacionada ao afundamento das rodas no solo quando em deslocamento sobre o mesmo, ou seja é a resistência que o solo impõe ao deslocamento do

trator, em função do seu peso (MÁRQUEZ, 1990). Linares et al., (2006) define como sendo a potência necessária para o trator se colocar em movimento, vencendo a deformação do solo, do próprio rodado e o seu peso. Para calcular a potência perdida pela resistência ao rolamento é utilizada a equação (6):

$$Nk = \frac{(Rk \cdot Vr)}{3,6} \quad (6)$$

Onde:

Nk: Potência perdida para vencer o rolamento (kW).

Rk: Resistência ao rolamento (kN).

Vr – Velocidade real de deslocamento (km h⁻¹).

Neste sentido, quanto menor for o peso do trator, menor será a perda por resistência ao rolamento, mas para a execução de um trabalho que necessita de maior força de tração, a redução de peso do trator, faz com que aumente o patinamento das rodas (MÁRQUEZ, 1990). A resistência ao rolamento pode ser calculada pela equação (7):

$$Rk = kv \cdot P \quad (7)$$

Onde:

Rk: Resistência ao rolamento (kN).

kv: Coeficiente de resistência ao rolamento (adimensional)

P: Peso total do trator (kN)

De acordo com o tipo de solo, há diferentes coeficientes de resistência ao rolamento (tabela 1), onde que em pista de concreto os coeficientes e a potência perdida por rolamento são muito baixas quando comparados a solos preparados ou arenosos, onde os índices são maiores, pois o rodado afunda no solo devido à menor estrutura do solo (MÁRQUEZ 2012). Deste modo, em uma condição onde ocorreu o preparo de solo e posteriormente realizado a semeadura, observa-se a maior perda por resistência ao rolamento quando comparado a uma operação de transporte em rodovia (SCHLOSSER, 1996).

Tabela 1: Coeficientes de resistência ao rolamento

Solo	Coeficiente de resistência ao rolamento
Rodovia em bom estado de conservação	0,02 - 0,04
Caminho de terra firme	0,03 - 0,05
Caminho de terra	0,04 - 0,06
Solo com resíduos secos na superfície	0,08 - 0,10
Solo preparado por meios mecânicos	0,10 - 0,20
Solo arenoso	0,15 - 0,30

Fonte: Adaptado de Márquez, 2012.

2.5 Eficiência em tração

É considerada uma relação, entre a potência de tração e a potência disponível no eixo das rodas motrizes do trator (NEUJHR e SCHLOSSER, 2001). De acordo com os mesmos autores, quanto maior essa relação, as perdas relacionadas no processo de tração serão reduzidas, e este parâmetro está altamente correlacionado com a carga na barra de tração, potência disponível, consumo de combustível e coeficiente dinâmico de tração.

A eficiência em tração pode ser obtida através da equação (8) (LINARES et al., 2006):

$$TE = \frac{Nb}{Nm} \quad (8)$$

Onde:

TE: Eficiência em tração.

Nb: Potência na barra de tração (kW).

Nm: Potência fornecida pelo motor (kW).

Em um estudo realizado por Jenane e Bashford (2000) que avaliaram condições de velocidade de deslocamento e superfície do solo para a eficiência em tração, verificaram que a maior eficiência em tração foi de 90% para solo firme e 70% para solo mobilizado.

2.6 Conjuntos mecanizados

No que tange a mecanização na agricultura, a união entre o implemento e o trator agrícola pode ser denominado de conjunto mecanizado (KMIECIK et al., 2023; ORLANDO JUNIOR et al., 2021; RUSSINI, 2012). Segundo Voltarelli et al., (2013) a capacidade de campo

efetiva, estabelecida em quantidade de trabalho por unidade de tempo, é fortemente influenciada pela configuração do conjunto, ou seja, quanto maior a sua dimensão, melhor pode ser o desempenho de operação.

De acordo com Strapasson Neto et al., (2021), nas últimas décadas o Brasil passou por diversas mudanças no cenário agrícola e, a eficiência operacional a partir da evolução dos conjuntos mecanizados, contribuiu para o aumento da produtividade da área sem a necessidade de expansão. Ainda segundo os autores, os principais atributos que interferem na eficiência operacional de um conjunto mecanizado são a velocidade e a massa total, bem como a distribuição da massa entre os eixos do trator.

Além disso, Granja (2018) descreve que diversos são os fatores que podem influenciar no desempenho operacional e energético de um conjunto mecanizado, como: superfície do solo, tipo de pneu, massa do trator e sua distribuição sobre os rodados, configuração construtiva do implemento tracionado e características intrínsecas do solo, além da velocidade de deslocamento. Portanto, é de fundamental importância em operações agrícolas, o correto dimensionamento do conjunto trator-implemento (ZIMMERMANN et al., 2022).

2.7 Consumo de combustível

Atualmente os custos de produção agrícola estão cada vez mais elevados, e a quantidade de combustível consumida pelo trator durante as operações agrícolas está diretamente relacionado (JUNCHES e FERRARI et al., 2022), dependendo do combustível utilizado e a quantidade de horas trabalhadas (RICHETTI, 2019).

Nesse sentido, se torna necessário que os agricultores tomem decisões apropriadas visando a redução do consumo de combustível deste modo otimizando seu ganho financeiro (PEREZ-MARTINEZ, 2012). A mecanização agrícola, apresenta potencial para reduzir parte dos custos de produção, relacionado aos gastos com combustível (PELOIA e MILAN, 2010).

Alguns fatores como a adequação do trator-equipamento, profundidade da operação, condição do solo, dentre outros influenciam no maior ou menor consumo de combustível (MONTANHA et al., 2010). Para a realização do mesmo tipo de trabalho, pode-se encontrar diferentes valores de consumo de combustível com a utilização de marchas distintas e rotações do motor (HANSON et al., 2003).

O combustível consumido pelo motor, pode ser mensurado de duas maneiras: o primeiro é o consumo horário, que está relacionado ao tempo e o segundo é o consumo específico, que

é em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (MIALHE, 1996). De acordo com autor, para mensuração do consumo horário, pode ser realizado através de instrumentos de medida, como o fluxômetro, onde expressa o resultado em ($L h^{-1}$), não considerando a potência desenvolvida e a variação de temperatura.

O consumo específico de combustível foi desenvolvido pelos engenheiros de motores, onde indica a quantidade de combustível que é consumido para o motor realizar determinado trabalho (SRIVASTAVA et al., 2006). De acordo com Lopes et al., (2003) é a forma utilizada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes, pois para expressar o gasto de combustível, considera a massa e a potência, sendo expresso em ($kg kW h^{-1}$ ou $g kW h^{-1}$).

2.8 Modos de condução de tratores agrícolas e diferentes rotações do motor

Visando obter uma operação mais eficiente durante a utilização dos tratores agrícolas, Kumar e Pandey (2015) relatam, que para isso, busca-se a otimização de alguns fatores, como a eficiência do uso do combustível pelo motor, o processo de tração e o desempenho do operador, sendo este último, o responsável por selecionar uma velocidade de deslocamento que seja ideal para a o trabalho que está sendo realizado, de acordo com o trator e o implemento utilizado.

Deste modo, os tratores, normalmente são operados por meio do gerenciamento independente do motor e da transmissão. O operador altera a rotação do motor através do acelerador e na transmissão é modificado a relação das engrenagens pelas alavancas das marchas (LINARES et al., 2006). A utilização de diferentes modos de condução, proporciona o gerenciamento do motor e da transmissão de forma que ocasione a redução do consumo de combustível.

Esta técnica é denominada como “Gear up and Throttle Down” ou seja “Marcha para cima e aceleração para baixo”, que pode ser utilizada em operações que não exijam a potência máxima do trator, onde consiste na redução da rotação do motor e no aumento da marcha de deslocamento (GRISSE, 2020). Deste modo fazendo com que se mantenha a velocidade de deslocamento durante a realização do trabalho (GROGAN et al., 1987). Como muitas operações são realizadas em uma velocidade fixa, consegue-se então obter uma economia de combustível com uso desta técnica (HAUCK e HOFMAN, 1979).

A utilização de diferentes modos de condução em tratores, pode ser executada tanto de modo manual, feito pelo operador ou automático, neste caso com o uso de transmissões

continuamente variável, que são equipadas com um sistema de controle, que podem ajustar a relação de transmissão e a rotação do motor, para que se possa trabalhar em um ponto que proporcione a máxima eficiência de consumo de combustível em determinadas condições de trabalho (RENIUS e RESCH, 2005). A velocidade é um fator determinante para que se tenha maior qualidade durante operação desenvolvida a campo, desta forma a manutenção da velocidade e com a alteração da marcha de deslocamento e rotação do motor, não causa interferências na qualidade do serviço e da capacidade operacional do trator (PARK et al., 2010).

A eficiência da operação agrícola pode ser melhorada, quando ocorre o aumento da capacidade operacional ou a redução do consumo de combustível, assim a busca por operações mais eficientes se torna uma das principais preocupações dos agricultores devido aos altos custos com combustível, mão de obra e manutenção (KUMAR e PANDEY, 2015). Em estudo realizado por Hunt, (1995) o autor descreve que mantendo a mesma velocidade de operação, com a redução da aceleração do motor e através do escalonamento de marchas, pode ocorrer a possibilidade de aumentar a eficiência do uso de combustível em até 17%.

Em outro trabalho, desenvolvido por Silva et al., (2003) utilizando uma marcha e quatro rotações do motor, verificou-se um aumento de 71% no consumo de combustível da menor rotação para a maior. Já Gotoh et al., (2010) utilizando estratégias de condução encontrou redução do consumo de combustível variando de 7 a 13%. Segundo Koelsch, (1978), em testes realizados em Nebraska, a economia de combustível pode ser obtida em quase todos os tamanhos e marcas de tratores.

2.9 Desempenho em tração de tratores agrícolas

Para a realização da avaliação do desempenho de um trator agrícola a campo, as informações são obtidas através de instrumentações eletrônicas, permitindo a definição de fatores que estão relacionados com a eficiência em trabalho do trator (SERRANO, 2007). A realização de ensaios com tratores agrícolas em pista, tem por objetivo comparar marcas e modelos de tratores de acordo com o seu desempenho em tração (SRIVASTAVA et al., 2006).

Com a realização de ensaios de tração, consegue-se obter parâmetros quantitativos relacionados à força de tração, velocidade, consumo de combustível, patinagem, potência disponível na barra de tração, coeficiente dinâmico de tração e eficiência em tração (MIALHE, 1996; SRIVASTAVA et al., 2006). O desempenho em tração de acordo com Gabriel Filho et al., (2010) é dependente principalmente da potência do motor, distribuição de peso sobre os

rodados, da altura e posição dos engates da barra de tração, superfície do solo além dos mecanismos de transmissão.

Além disso, destaca-se as relações de transmissão da caixa de câmbio, que são dependente da combinação das engrenagem das marchas que influencia no torque e potência que chega aos rodados (NAUNHEIMER et al., 2011). Quanto maior essa relação maior é o torque disponível e a velocidade de deslocamento é reduzida.

Em um estudo realizado por Yanai et al., (1999) avaliaram a campo a influência de fatores como a pressão interna dos pneus, carga sobre os rodados motrizes e potência disponível, afetam os parâmetros de patinamento, velocidade e potência na barra de tração. De acordo com Zoz e Grisso (2003), o desempenho em tração também é afetado pelas forças de reação normal e tensão de cisalhamento do solo, pois estas interferem na resistência ao movimento e redução de deslocamento.

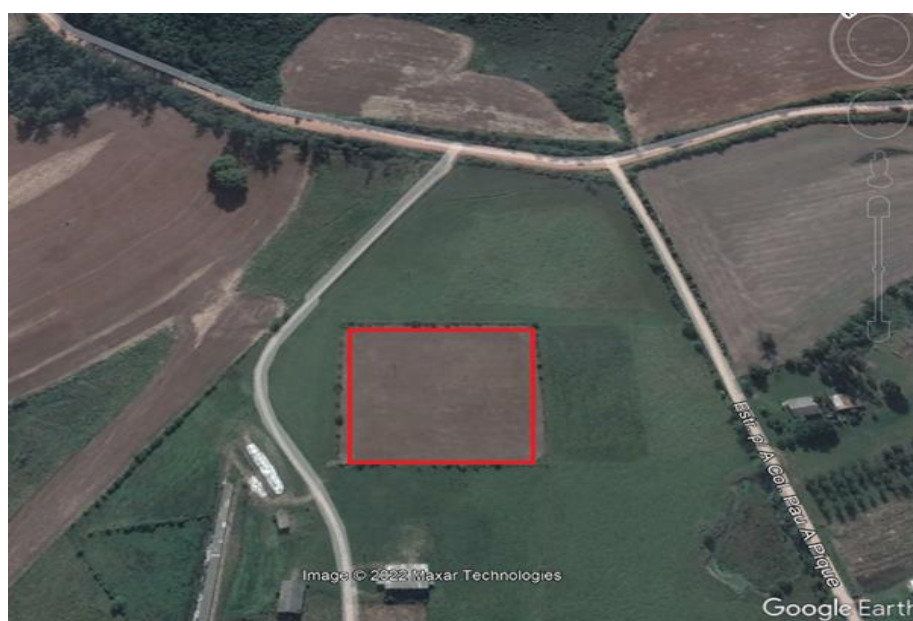
Para que se obtenha o máximo desempenho do trator, é necessário que o mesmo esteja em condições ideais, neste caso em uma superfície pavimentada de concreto ou asfalto (MACMILLAN, 2002). Em ensaios realizados em pista por Schmulevich e Osetinsky (2003), avaliando o desempenho do rodado integrando força de tração e torque no eixo, os resultados demonstraram grande precisão entre a força de tração e o torque medido no eixo, com alto ajuste linear.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local do experimento

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, na área experimental da Bovinocultura de Corte, do Departamento de Zootecnia da UFSM, com coordenadas 29°43'30.19"S e 53°44'12.08"O (Figura 2) com altitude média de 113 metros. O relevo da área é plano e o solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA 1999) pertencente a unidade de mapeamento de Santa Maria - RS e segundo a caracterização climática de Köeppen (1931) é subtropical úmido.

Figura 2: Área utilizada para realizar o experimento



Fonte: Google Earth

A área usada para o experimento possui 110 metros de comprimento por 100 metros de largura, com a presença de plantas daninhas espontâneas, com espécies de folhas largas e gramíneas. Para determinar as características do solo, foram realizadas coletas para análises físicas do solo, sendo realizado inicialmente a amostragem não destrutiva, para a determinação da densidade do solo, conforme metodologia descrita por Almeida et al., (2017). Para isso foi utilizado um amostrador do tipo “Uhland” com cilindros em aço inoxidável de 4 cm de altura

e 6 cm de diâmetro, tendo um volume de 113,04 cm³. Foram realizadas amostras nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, sendo realizado em três pontos aleatórios da área, onde na figura 3a demonstra o procedimento de coleta.

Seguindo a metodologia, a densidade de solo, é obtida pela relação entre a massa do solo seca a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros, conforme a equação (9):

$$\rho = \frac{Ms}{V} \quad (9)$$

Onde:

ρ : Densidade do Solo (g.cm³)

Ms: Massa do solo seco (g)

V: Volume do cilindro (cm³)

As amostras retiradas foram levadas ao laboratório de Física do Solo, do Centro de Ciências Rurais da UFSM, processadas as amostras, os resultados de densidade estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros físicos do solo da área experimental

Parâmetro	Profundidade	
	0 - 10	10 - 20
Textura	(%)	(%)
Areia	38,9	36,3
Silte	44,6	46
Argila	16,4	17,7
Densidade do solo	g.cm³	
Ds	1,35	1,37

Fonte: O autor

Também foram coletadas amostras por método destrutivo para a determinação da textura do solo, conforme descrito por Sá (2021) nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, nos mesmos pontos utilizados para as amostras anteriores. Sendo realizado a abertura de trincheiras e com pá de corte foi retirado a amostra nas profundidades estabelecidas conforme demonstrado na figura 3b. Posteriormente as amostras foram colocadas em baldes onde foram homogeneizadas e levadas para processamento no Laboratório de Análises de Solos da UFSM. Os resultados de textura do solo estão apresentados na tabela 2 demonstrada a cima.

Figura 3: Coleta de amostras do solo não destrutiva (a) e destrutivas (b)



Fonte: O autor

3.2 Trator utilizado no experimento

O trator utilizado no experimento foi um Massey Ferguson, modelo 6711 ano 2018, com 1601 horas de trabalho e tração dianteira auxiliar (TDA), possuía motor ciclo Diesel marca AGCO Power modelo 44WC3, turbo intercooler com quatro cilindros, de 4.400 cm³ de volume interno deslocado. Para avaliar o desempenho do motor do trator, foi utilizado um dinamômetro móvel, modelo PT301 da marca EGGERS, que opera pelo princípio das correntes parasitas (correntes de Foucault) com arrefecimento a ar. A norma utilizada como referência para a avaliação durante o ensaio foi a ISO 1585. Deste modo verificou-se para o motor a potência máxima de 74 kW a 1806 rpm e torque máximo de 431 Nm a 1402 rpm.

A transmissão do trator era composta por uma caixa de velocidades com 12 marchas a frente e 12 a ré, do tipo mecânica, com reversor eletro hidráulico. As duas alavancas são laterais, onde uma é para a seleção das marchas (1, 2, 3, 4, 5 e 6) e a outra para a seleção dos grupos (L e H). O escalonamento das marchas referentes à operações de campo, com tração estão apresentadas na tabela 3, iniciando com a L3 até a H3, as marchas que corresponderam a velocidades muito reduzidas e modo de transporte foram desconsideradas.

Tabela 3: Escalonamento de marchas referente a operação de campo

Marcha	Rotação (rpm)	Velocidade (km h ⁻¹)
L3	1800	3,60
L3	2000	3,97
L4	1800	5,00
L4	2000	5,55
*L5	1800	7,58
*L5	2000	7,75
*L6	1800	8,25
*L6	2000	9,51
H1	1800	5,46
H1	2000	6,11
*H2	1800	7,69
*H2	2000	8,16
H3	1800	10,20
H3	2000	11,41

*Marchas utilizadas no experimento a campo

Fonte: O autor

As rotações do motor foram definidas visando comparar duas condições de trabalho, onde uma o trator é conduzido em uma rotação do motor elevada sendo a 2000 rpm e a outra forma é reduzindo a rotação do motor para 1800 rpm. Para a definição das marchas utilizadas no experimento, foi realizado um teste piloto onde foi empregado as marchas dentro das rotações definidas (tabela 3), sendo selecionado as marchas que proporcionaram as velocidades de deslocamento mais próximas e a melhor condição de tração do implemento, sendo as destacadas em negrito visualizadas na tabela 3.

Determinou-se a relação de transmissão do trator, para as marchas e rotações definidas anteriormente, sendo suspenso as rodas traseiras conforme demonstrado na figura 4 a, com as trocas das marchas muda a relação de transmissão, conseqüentemente a rotação da roda. Com um tacômetro digital foi medido a rotação de saída do rodado conforme a figura b, considerando todo o sistema de transmissão e redução final.

Figura 4: Suspendendo a roda (a) e tacômetro no centro do eixo (b)



A relação de transmissão é o produto da divisão da rotação do motor pela rotação dos rodados. A rotação do motor utilizada foi de 850 rpm, por questões de segurança e os resultados da relação de transmissão posteriormente foram calculados para as rotações de 1800 rpm e 2000 rpm, conforme demonstrados na tabela 4.

Tabela 4: Relação de transmissão para as marchas utilizadas no experimento

Marcha	Rotação da roda a 850 (rpm)	it a 850 rpm	it a 1800 rpm	it a 2000 rpm
L5	10,5	80,95	171,43	190,48
H2	11,2	75,89	160,71	178,57
L6	12,9	65,89	139,53	155,04

Fonte: O autor

O trator estava equipado com os pneus R1 da marca Goodyear Dyna torque II de 12 lonas com medidas de 14.9-26 nos rodados dianteiros e nos rodados traseiros os pneus são R1 da marca Goodyear Dyna torque III de 12 lonas, com medidas de 23.1-30.

3.2.1 Pesagem do trator e distribuição estática de peso

A pesagem do trator foi obtida pela utilização de balanças digitais portáteis, onde realiza a pesagem por eixo do trator conforme a figura 5. O trator possuía lastros líquidos nos quatro rodados, sendo 50% e 75% do volume total para os rodados dianteiros e traseiros,

respectivamente. Além de lastragem metálica com 10 placas de 50 kg no suporte dianteiro e no rodado traseiro peso metálico de 150 kg.

Figura 5: Pesagem do trator em balança portátil



Fonte: O autor

Os resultados da pesagem total, por eixo, distribuição de peso estática e pressão interna dos pneus estão demonstrados na tabela 5. A pressão interna dos pneus foi definida de acordo com o peso por eixo do trator.

Tabela 5: Pesagem do trator, distribuição por eixo e pressão dos pneus

Pesagem	Peso com lastro kN (kgf)	Percentual (%)	Pressão dos interna dos pneus (psi)
Eixo dianteiro	25,77 (2.630)	40,7	16
Eixo traseiro	37,53 (3.830)	59,29	18
Total	63,30 (6.460)	100,00	-

Fonte: O autor

A distribuição de peso nos eixos do trator ficou 40,7% para o dianteiro e 59,29% para o traseiro, que de acordo com Neto et al., (2021) com esta distribuição proporciona maximizar a performance em tração do trator.

3.2.2. Determinação da circunferência de rolamento e avanço cinemático

Para determinar o avanço cinemático, foi escolhido uma superfície não pavimentada com o mínimo de resistência ao rolamento, com a superfície horizontal e homogênea e com baixa rugosidade superficial. Para a determinação, foram feitas marcas com um giz nos rodados do trator e posteriormente, depois de cinco voltas do rodado foi medida a distância percorrida conforme demonstrada na figura 6, primeiro sem a TDA ativada e depois foi repetido o processo com a TDA ativada. O trator estava sem carga na barra de tração e com o motor em rotação de marcha lenta. Os valores obtidos foram necessários para calcular o avanço cinemático, conforme a equação (10) descrita por Márquez (2012):

$$A = \left(\frac{\text{Distância TDA ligada} \left(\frac{RT}{RD} \right)}{\text{Distância TDA desligada} \left(\frac{RT}{RD} \right)} \right) - 1 \times 100 \quad (10)$$

Onde:

A: Avanço cinemático (%)

RT: Rodado traseiro (m)

RD: Rodado dianteiro (m)

Com as medições e os cálculos realizados, o avanço cinemático foi de 3%. Segundo Schlosser et al., (2004), as velocidades de avanço podem variar entre 1 a 5%.

Figura 6: Procedimento para verificação do avanço cinemático: a) Marcação do início da primeira volta do pneu; b) Contagem do número de voltas dos rodados; c) Marcação da última volta do rodado; d) Medição da distância percorrida



Fonte: O autor

3.3 Semeadora

Para impor carga na barra de tração do trator, simulando uma operação de semeadura, foi utilizada uma semeadora da marca Massey Ferguson modelo MF 509, de 8 linhas demonstrada na figura 7, com peso aproximado de 30,28 kN (3.090 kgf) e possuía sistema de sulcador do tipo haste, com profundidade de trabalho de aproximadamente 20 cm. A máquina utilizada não estava carregada com sementes e fertilizante.

Figura 7: Semeadora utilizada no experimento



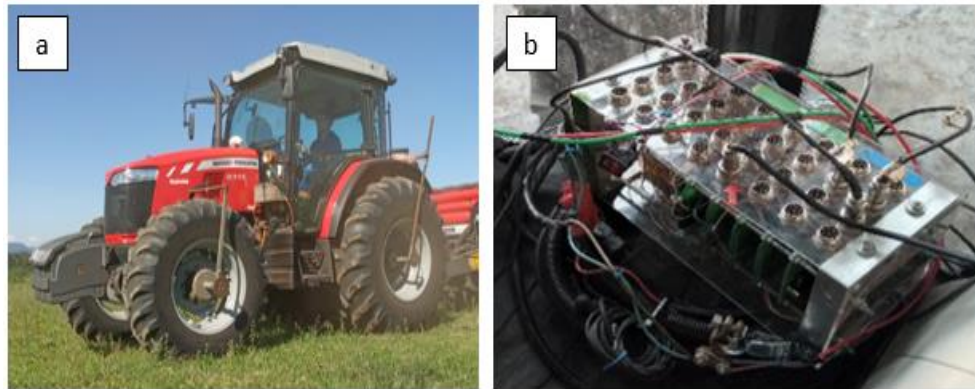
Fonte: O autor

3.4 Instrumentação Eletrônica de aquisição de dados

A coleta dos dados foi obtida com o uso de uma instrumentação eletrônica desenvolvida no próprio laboratório, por (RUSSINI, 2009) que instalada no trator conforme a figura 8a consegue coletar simultaneamente dados de velocidade de deslocamento, força de tração, consumo de combustível e rotação das rodas motrizes. Por meio do software utilizado consegue adquirir dados a uma frequência de um registro a cada segundo, armazenando-os em um equipamento denominado datalogger, desenvolvido por (ROSA, 2019) demonstrado na figura 8b. Após a aquisição dos dados, estes são salvos na forma de um arquivo (formato xlsx) em um

cartão de memória, que posteriormente são descarregados no notebook e o arquivo pode ser aberto em uma planilha de cálculo, por exemplo o Microsoft Excel®.

Figura 8: Trator instrumentado (a) e datalogger (b)



Fonte: O autor

3.4.1 Força de tração

A força de tração demandada, é medida através de uma célula de carga demonstrada na figura 9, sendo instalada através de uma barra de tração retrátil, na qual a célula de carga fica entre o trator e a semeadora. A força é medida pela célula de carga que gera pulsos elétricos em mV, de acordo com a intensidade do esforço demandado.

Figura 9: Sistema de engate e célula de carga



Fonte: O autor

3.4.2 Sensor das rodas motrizes

Foram utilizadas duas rodas dentadas de 32 dentes cada, acopladas a um extensor e fixadas aos rodados traseiro e dianteiro esquerdos do trator (Figura 10), para medir as velocidades dos rodados dianteiros e dos traseiros, que trabalhava sempre com a tração dianteira auxiliar ativada e com o diferencial bloqueado. Em cada roda dentada foi colocado um sensor indutivo para detectar a passagem dos dentes da engrenagem pelo sensor, de acordo com a velocidade rotação da mesma. Com esta informação, consegue-se calcular a velocidade periférica da roda, conforme a equação (11):

$$V_{roda} = \frac{(Freq. \cdot Per \cdot 3,6)}{n} \quad (11)$$

Onde:

V_{roda} : Velocidade da roda ($km.h^{-1}$)

Freq: Frequência captada pelo sensor (Hz)

Per: Perímetro da roda (m)

n: Número de dentes da roda dentada

Figura 10: Roda dentada e sensor indutivo



Fonte: O autor

3.4.3 Velocidade real do trator

A velocidade de deslocamento real do trator foi obtido por meio de um receptor de sinais de satélite (GPS) marca Trimble utilizando uma antena posicionada no capô do trator conforme a figura 11.

Figura 11: Antena de GPS



Fonte: O autor

3.4.4 Consumo de combustível

Para medir o consumo de horário de combustível foi utilizado um fluxômetro da marca Oval M-III modelo LSF 41 demonstrado na figura 12, que gera um número de pulsos de acordo com o volume de combustível que passa pelo mesmo. O consumo horário de combustível é calculado pela equação 12:

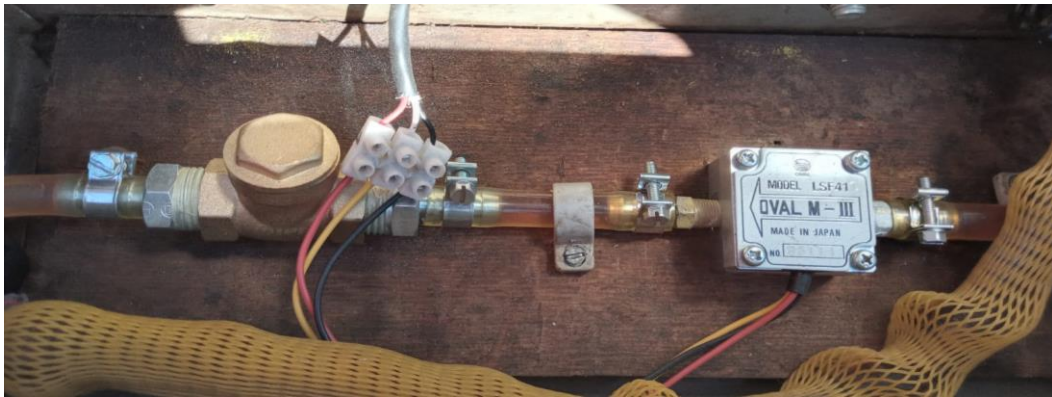
$$Cs = Pul \times 3,6 \quad (12)$$

Onde:

Cs: Consumo de combustível ($L h^{-1}$)

Pul: Pulsos gerados pelo fluxômetro

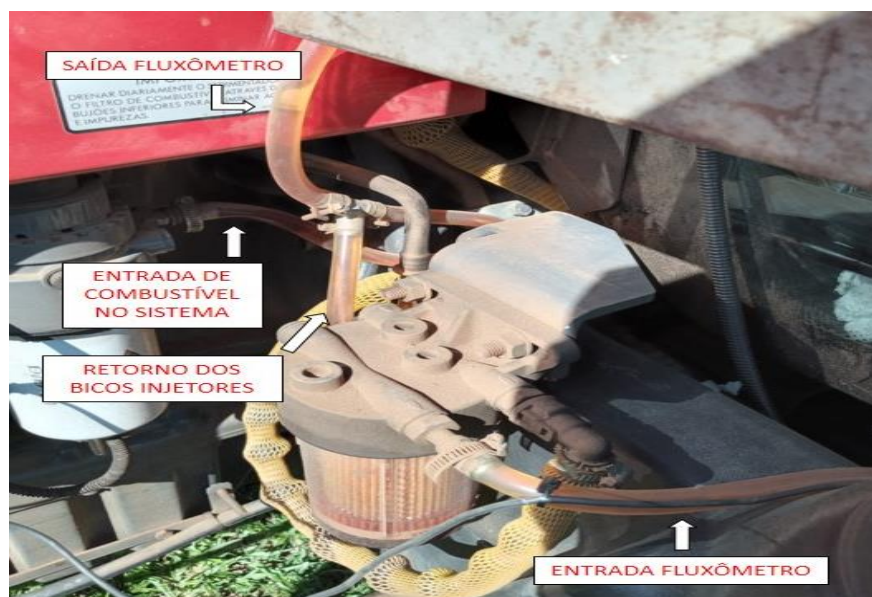
Figura 12: Fluxômetro



Fonte: O autor

Pode-se medir o consumo horário de combustível com a utilização de sensores de duas formas, a primeira é utilizando dois fluxômetros, onde um mede o combustível sai do tanque e é conduzido até a bomba injetora e o outro mede o retorno após passar pelos bicos injetores. A outra forma de acordo com Russini (2009), é colocar o retorno dos bicos injetores na manga de saída do fluxômetro após válvula de retenção, fazendo com que o motor consuma esse excedente, sendo contabilizado somente a quantidade de combustível utilizada pelo motor que passa pelo fluxômetro. Esta forma foi realizada nesse estudo, conforme demonstrado na figura 13.

Figura 13: Modo de montagem das conexões do fluxômetro



Fonte: O autor

Com base dos dados de consumo horário de combustível e a potência na barra de tração foram calculados o consumo específico do combustível conforme a equação (13) (FARIAS et al., 2020):

$$C_e = \frac{Ch \times \rho \times 1000}{N_{BT}} \quad (13)$$

Onde:

Ce: Consumo específico (g kW h⁻¹).

Ch: Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

ρ: Densidade do combustível (0,875 kg L⁻¹)

N_{BT}: Potência na barra de tração (kW)

3.4.5 Patinamento das rodas motrizes.

Foi obtido através dos dados de velocidade do trator e das rodas motrizes, de acordo com a equação (14):

$$S = \left[1 - \left(\frac{V_r}{V_t} \right) \right] \cdot 100 \quad (14)$$

Onde:

V_r: Velocidade real do trator (km.h⁻¹)

V_t: Velocidade da roda (km.h⁻¹)

3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental escolhido foi de blocos ao acaso que foram dispostos em faixas, com seis tratamentos, correspondentes à combinação de marchas de deslocamento e rotações do motor (tabela 6) com quatro repetições.

Tabela 6: Tratamentos utilizados no experimento

Ordem	Marcha	Rotações do motor (rpm)	Tratamento
1	L5	1800	L5 1800 rpm
2	L5	2000	L5 2000 rpm
3	H2	1800	H2 1800 rpm
4	H2	2000	H2 2000 rpm
5	L6	1800	L6 1800 rpm
6	L6	2000	L6 2000 rpm

Fonte: O autor

As variáveis analisadas foram a velocidade (km.h^{-1}), consumo horário de combustível (L h^{-1}), consumo específico de combustível (g kW h^{-1}), força de tração (kN), patinamento (%), potência na barra de tração (kW) e a eficiência em tração.

Os dados foram submetidos as pressuposições do modelo, aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias residuais e aditividade do modelo estatístico e posteriormente foi empregado a análise de variância a 5% de probabilidade, visando identificar variações atribuídas às combinações de marchas e rotações do motor. Com base nos dados que diferiram estatisticamente foi realizado o teste de Scott Knott para a comparação de médias.

Para identificar as relações estatísticas entre as variáveis, foi utilizado a correlação de Pearson, onde o coeficiente da correlação possui um intervalo de +1 a -1, onde que o valor 0 não indica associação entre as variáveis, valores maiores que zero indicam uma associação positiva e os valores menores que zero indicam associação negativa. Aplicou-se o algoritmo de Euclidiana média, obtendo-se então a matriz das distâncias ponderadas pela matriz residual, responsável por evidenciar os componentes principais. A análise dos dados foi realizada pelo programa estatístico RStudio (R CORE TEAN, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com resultado da análise de variância (Tabela 7) pode-se observar que o uso de diferentes marchas aliado a diferentes rotações do motor apresentou efeito significativo para todas as variáveis analisadas.

Tabela 7: Resumo da análise de variância para as variáveis velocidade (km h⁻¹), CH – Consumo horário (L h⁻¹), CE – Consumo específico (g kW h⁻¹), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - Potência na barra de tração (kW) e ET - Eficiência em tração.

QUADRADOS MÉDIOS								
FV	GL	VELOCIDADE	CH	CE	FT	δ	PBT	ET
TRAT	5	0,98211*	15,4663*	465,94*	21,4951*	50,409*	28,8893*	0,0052756*
BLOCO	3	0,05886	0,3963	23,87	0,5923	0,421	0,8241	0,0001505
RESÍDUO	15	0,13610	12,0966	78,11	0,6182	1,753	8,3139	0,0015182
TOTAL	23	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,87	4,39	2,69	2,55	12,97	5,38	5,38

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

O coeficiente de variação das variáveis analisadas é uma medida de dispersão, na qual se estima a precisão do experimento e demonstra o desvio padrão como uma porcentagem da média, e de modo geral, nos experimentos realizados, quanto menor o valor, tende a ser mais preciso (LIMA et al., 2004). Na tabela 8, é possível verificar o resultado da comparação de médias pelo teste de Scott – Knott a 5% de probabilidade para as variáveis analisadas.

Tabela 8: Comparação de médias de Scott-Knott para as variáveis velocidade (km h⁻¹), CH – Consumo horário (L h⁻¹), CE – Consumo específico (g kW h⁻¹), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - Potência na barra de tração (kW) e ET - Eficiência em tração.

TRAT	VELOCIDADE	CH	CE	FT	δ	PBT	ET
L5 1800	5,54 c	20,39 b	347,43 a	32,218 a	16,99 a	49,98 b	0,67 b
L5 2000	6,16 b	21,40 a	331,66 b	32,504 a	8,69 c	55,25 a	0,74 a
H2 1800	6,26 b	20,58 a	315,99 b	32,334 a	11,16 b	56,05 a	0,75 a
H2 2000	6,24 b	20,77 a	322,15 b	32,150 a	7,64 c	55,56 a	0,75 a
L6 1800	6,40 b	18,82 c	324,74 b	28,483 b	7,64 c	50,48 a	0,68 b
L6 2000	7,09 a	20,77 a	330,74 b	27,276 c	8,80 c	54,43 a	0,73 a

Fonte: O autor

Analisando o teste de médias (tabela 8) para a variável velocidade, o maior valor foi verificado no tratamento L6 2000 rpm, justamente por ser a marcha que possui a menor relação de transmissão entre as utilizadas no experimento (tabela 4), desenvolvendo assim a maior velocidade do trator. Para o tratamento L5 1800 rpm, apresentou menor velocidade quando comparado ao L5 2000 rpm, justamente pela diferença entre as rotações do motor destes tratamentos, sendo que neste último, com a maior rotação resultou em um incremento na velocidade de deslocamento, que de acordo com Park et al., (2010) são considerados variáveis dependentes. Nos tratamentos H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, não houve diferença significativa para esta variável analisada. Esse comportamento entre as velocidades de deslocamento estando relacionado com a marcha de deslocamento já era previsto, pois justamente pelo aumento da marcha do trator, ocorre o incremento da velocidade de deslocamento (FURLANI et al., 2005; AMORIM et al., 2019).

Para a variável consumo horário de combustível (CH) (tabela 8) pode-se verificar que os tratamentos L5 2000 rpm e L6 2000 rpm, apresentaram maiores níveis do consumo horário de combustível com 21,40 e 20,77 L h⁻¹ respectivamente, mas não diferindo estatisticamente dos tratamentos H2 1800 rpm e H2 2000 rpm. Já o menor consumo de combustível foi verificado para o tratamento L5 1800 rpm com 20,39 L h⁻¹ e com 18,82 L h⁻¹ para o tratamento L6 1800 rpm. Quando se comparam os tratamentos L5 1800 rpm e L5 2000 rpm, L6 1800 rpm e L6 2000 rpm, que são aqueles tratamentos que possuem a mesma marcha, mas com o incremento da rotação do motor, foi verificado o acréscimo do consumo de combustível foi de 5% e 9%.

O menor consumo de combustível foi verificado nos tratamentos que possuem as menores rotações, exceto para o tratamento H2 1800 rpm que não diferiu estatisticamente dos demais. A menor a menor rotação os motores de ciclo Diesel obtêm maior eficiência, devido a maior capacidade em admitir oxigênio (comburente), maior tempo para completar o ciclo da combustão e menor atrito entre os componentes dinâmicos e estáticos do motor (MÁRQUEZ, 2012). Com isso, motores que operam em menores regimes de rotação tendem a apresentar um menor consumo de combustível (FIORESE et al., 2015).

Para o consumo específico de combustível (CE), o maior consumo ocorreu no tratamento L5 1800 rpm com 347,43 g kW h⁻¹, já para os demais tratamentos não houve diferença significativa para esta variável (tabela 8). Esse comportamento dos resultados, pode estar relacionado a potência na barra de tração, que é considerada para o cálculo da obtenção do consumo específico de combustível, conforme demonstrado na equação 13.

Embora não tenha apresentado diferença significativa entre os tratamentos o menor consumo específico foi verificado no tratamento H2 1800 rpm com 315,99 g kW h⁻¹ (tabela 8). Quanto menor o consumo específico de combustível significa que há maior otimização do desempenho do motor, na eficiência em tração e a adequação do implemento ao trator (LYNE et al., 1984). Quando comparado os tratamentos L5 1800 rpm e L5 2000 rpm, pode-se observar que houve uma redução do consumo específico, o que pode estar relacionado a velocidade de deslocamento, que foi maior neste último tratamento. Silveira et al., (2013) encontrou a redução do consumo específico de 42,63 g kW h⁻¹ com o aumento da velocidade de deslocamento do trator. Cortez et al., (2007), Gabriel Filho et al., (2010) e Mahl et al., (2004) também encontraram menor consumo de específico de combustível nas maiores velocidades de deslocamento.

Para a variável força de tração, os maiores valores foram verificados nos tratamentos L5 1800 rpm, L5 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm com 32,218, 32,504, 32,334 e 32,150 kN respectivamente, sendo que estes tratamentos não se diferiram estatisticamente entre si a 5% de probabilidade (tabela 8). Isso pode estar associado a pouca variação da velocidade de deslocamento nestes tratamentos e devido ao relevo da área experimental ser plano, fez com que a força de tração demandada apresentasse valores próximos. Já para os tratamentos que apresentaram maior diferença estatística foram o L6 1800 rpm com 28,483 kN e a L6 2000 rpm com 27,276 kN, podendo estar relacionado com a variação da velocidade de deslocamento entre estes tratamentos que foram de 6,40 e 7,09 km h⁻¹ respectivamente, tendo a redução da força de tração com o incremento da velocidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Furlani et al., (2007) que com o aumento da velocidade deslocamento ocorreu a redução da força de tração. Silveira et al., (2013) que avaliando a força média na barra de tração de um trator agrícola, conforme aumentou a velocidade de deslocamento de 3,5 para 7 km h⁻¹, houve a redução da força requerida na barra de tração de 9%, que neste caso, estava relacionado ao peso da semeadora, que conforme é ocorre a operação de semeadura, tem-se a diminuição do nível do depósito de sementes e adubo, exigindo menor esforço para tracionar o implemento. Já Pinheiro Neto et al., (2004) encontrou resultados contrários, onde verificou um acréscimo da força requerida na barra de tração de 8% com o aumento da velocidade de deslocamento.

Para o patinamento das rodas motrizes (δ), o maior valor foi observado no tratamento L5 1800 rpm com 16,99% (tabela 8). Isto pode estar associado a condição da relação de transmissão do trator (tabela 4) que quanto maior relação, menor a velocidade de deslocamento e maior é o torque produzido nos rodados, que acabam influenciando no patinamento do trator.

Em estudos realizados por Furlani et al., (2007) encontraram o maior valor com a menor velocidade de deslocamento do trator. Já Almeida et al., (1990) o patinamento maior quando o trator foi operado em baixas rotações do motor. Essas situações foram parecidas com as observadas para este tratamento.

Para o tratamento H2 1800 rpm o patinamento apresentou valor de 11,16%, sendo que o patinamento ideal em solos sem mobilização deve ficar entre 8 a 10% (ASAE, 2003). Como nesse tratamento o índice foi pouco superior ao considerado ótimo, pode-se considerar que não há grandes interferências ao desempenho do trator em tração. Para os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas, sendo que os mesmos ficaram abaixo de 10%.

O patinamento do trator agrícola dentro dos níveis aceitáveis, proporciona a máxima eficiência tratória (SOYLU et al., 2020), além de otimizar a sua performance, proporciona a redução do consumo de combustível e menor compactação do solo (CORRÊA et al., 1998, JANULEVICIUS et al., 2018). Estima-se que aproximadamente 60 a 70% da potência disponibilizada pelo motor é utilizada para realizar a tração. Quando o patinamento está abaixo do ideal, são considerados desfavoráveis pois isso acontece devido ao aumento da resistência ao rolamento e valores superiores causam ineficiência do processo de tração do trator (EKINCI et al., 2017; GUPTA et al., 2019).

Para a variável potência na barra de tração (PBT), os maiores valores foram encontrados para os tratamentos L5 2000 rpm, L6 1800 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, com 55,25, 54,43, 56,05 e 55,56 kW respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si (tabela 8). Já as menores potências foram registradas no tratamento L5 1800 rpm com 49,98 kW e 50,48 kW para o tratamento L6 1800 rpm. A potência na barra de tração para ser obtida, considera os parâmetros de força de tração e velocidade de deslocamento, neste sentido os maiores valores para esta variável estão relacionados aos tratamentos com a maior velocidade de deslocamento do trator.

Em um estudo conduzido por Silveira et al., (2013) verificou que com o aumento da velocidade de deslocamento ocorreu incremento na demanda de potência na barra de tração do trator. Resultados semelhantes também foram encontrados por (AMORIM et al., 2019; FRANCETTO et al., 2016; MILAGRES et al., 2015; ZIMMERMANN et al., 2022). Já Furlani et al., (2007) constatou a menor exigência de potência na barra de tração, mesmo com maior força de tração, mas com a menor velocidade de deslocamento. Algo que foi observado no tratamento L5 1800 rpm pois o mesmo possui a menor velocidade de deslocamento.

Para a eficiência em tração (ET), os maiores valores foram obtidos nos tratamentos L5 2000 rpm, L6 2000 rpm, H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, com 0,74, 0,73, 0,75 e 0,75

respectivamente, não diferindo entre si estatisticamente a 5% de probabilidade (tabela 8). Os maiores valores estão associados as condições do patinamento do trator, corroborando com Fiorese et al., (2019) encontraram as maiores eficiências de 0,76 e 0,73 nas operações de subsolagem e gradagem respectivamente, com valores de patinamento entre 8 a 10%. Resultados semelhantes foram encontrados por Elwaleed et al., (2006) e Upadhyaya et al., (1997) onde as melhores eficiências foram observadas com 5 a 10% de patinamento dos rodados.

Os menores valores de eficiência em tração foram encontrados para o tratamento L5 1800 rpm, com 0,67, devido a variável apresentar o maior patinamento dos rodados. Já para o tratamento L6 1800 rpm foi de 0,68, estando relacionado a menor potência na barra de tração desenvolvida neste tratamento, pois para a obtenção da eficiência em tração, considera a relação entre a potência na barra de tração e a potência fornecida pelo motor.

Em outra forma de analisar os resultados obtidos na pesquisa, pode-se comparar os tratamentos de acordo com a obtenção da mesma velocidade de deslocamento, com marcha reduzida e rotação alta e vice versa, conforme a proposta de Grisso (2020). Os tratamentos que proporcionaram essa comparação (tabela 9) foram as alternativas propostas na comparação dos tratamentos L5 2000 rpm e L6 1800 rpm, e entre os tratamentos H2 2000 rpm e L6 1800 rpm. Especificamente na segunda dupla de comparação, pode-se encontrar uma satisfatória análise

Tabela 9: Comparação de médias de Scott-Knott entre os tratamentos L5 2000 e L6 1800 e entre o H2000 e L6 1800 para as variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - Potência na barra de tração (kW) e ET - Eficiência em tração.

TRAT	VELOCIDADE	CH	CE	FT	δ	PBT	ET
L5 2000	6,16 b	21,40 a	331,66 b	32,504 a	8,69 c	55,25 a	0,74 a
L6 1800	6,40 b	18,82 c	324,74 b	28,483 b	7,64 c	50,48 a	0,68 b
H2 2000	6,24 b	20,77 a	322,15 b	32,150 a	7,64 c	55,56 a	0,75 a
L6 1800	6,40 b	18,82 c	324,74 b	28,483 b	7,64 c	50,48 a	0,68 b

Fonte: O autor

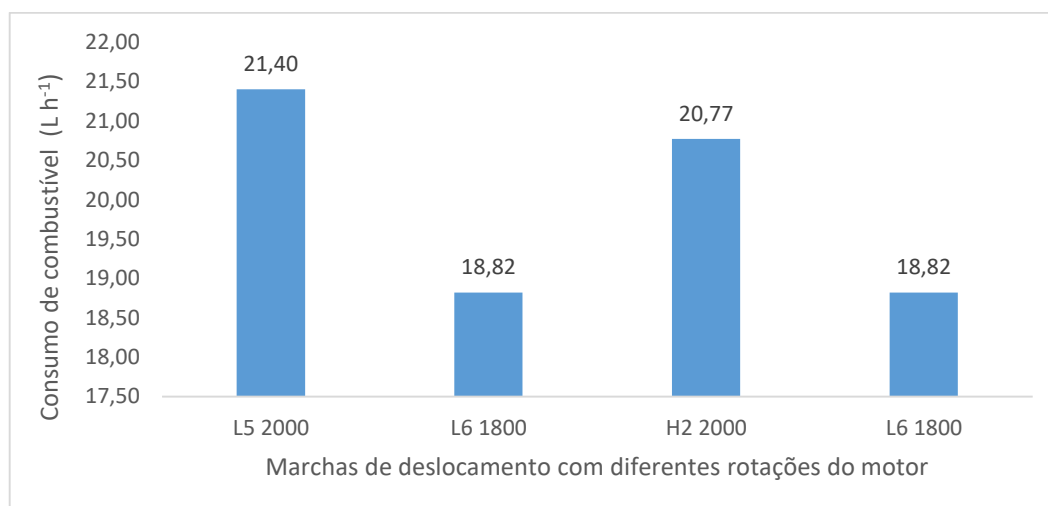
Desta forma, a análise estatística permite concluir que entre estes dois tratamentos não houve diferença significativa entre as velocidades de deslocamento, portanto, podendo-se deduzir que são iguais, porém houve diferenças significativas para consumo horário de

combustível, força de tração na barra e eficiência em tração, sendo que para estas duas últimas variáveis demonstraram comportamento semelhantes na comparação entre os tratamentos.

A eficiência em tração foi menor no tratamento L6 1800 rpm na comparação dos tratamentos, e isso pode estar relacionado a potência na barra de tração que embora não tenha demonstrado diferença significativa entre os tratamentos, possui o menor valor também para este tratamento. Como a potência na barra de tração é considerada para obter a eficiência em tração então pode ter influenciado nessa variável, de acordo o que foi descrito anteriormente.

Conforme o gráfico visualizado na figura 14, conforme aumentou-se a marcha de deslocamento de L5 para L6 e diminuindo a rotação do motor de 2000 rpm para 1800 rpm, verificou-se uma redução do consumo horário de 12%. Para a outra comparação, a redução do consumo foi de 9% aumentando a marcha da H2 para a L6 e baixando a rotação do motor.

Figura 14: Consumo horário de combustível em diferentes marchas e rotação do motor

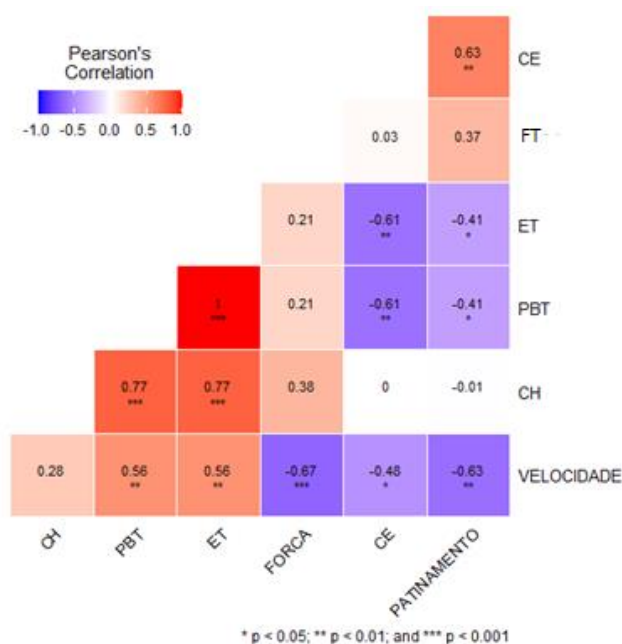


Fonte: O autor

Em um estudo conduzido por Silva et al., (2003) durante a operação de semeadura de milho, utilizando a mesma marcha de deslocamento e alternando a rotação do motor encontraram um acréscimo de 7 a 71% no consumo horário de combustível. Já Silveira et al., (2013) utilizando diferentes rotações do motor para a mesma velocidade de deslocamento, encontraram variações de 7 a 44% no consumo horário de combustível, da menor para a maior rotação. Miranda et al., (2000) utilizando duas rotações do motor 1800 rpm e 2000 rpm, obteve um incremento de 12,9% no consumo horário de combustível quando o trator foi conduzido na maior rotação.

A correlação linear de Pearson (figura 15), demonstra a relação entre as variáveis estudadas, independente dos tratamentos utilizados, que podem influenciar positivamente ou negativamente na variável correlacionada.

Figura 15: Correlação de Pearson para as variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - potência na barra de tração (kW) e ET - eficiência em tração.



Fonte: O autor

Deste modo, ao analisar o patinamento das rodas motrizes, observa-se uma associação positiva com o consumo específico de combustível (CE), ou seja, conforme ocorre o aumento do patinamento, verifica-se o aumento do consumo específico de combustível motor. O patinamento dos rodados ocorre em virtude de diversos fatores, entre os principais destaca-se o esforço de tração necessário para deslocar um determinado equipamento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem das rodas motrizes (HERZOG et al., 2002).

A medida que ocorre a falta de aderência da superfície da banda de rodagem do pneu com o solo, provoca a redução da velocidade de deslocamento do trator (SILVEIRA, 2018), sendo esse um fator que proporciona o aumento do consumo específico de combustível. Conforme resultados encontrados por Lopes et al., (2003) e Cortez et al., (2005) na operação

de preparo de solo e semeadura de soja respectivamente, verificaram que a menor velocidade de deslocamento proporcionou o maior consumo específico de combustível do trator agrícola.

Para a eficiência em tração (ET), apresenta associação significativa e negativa para o patinamento das rodas motrizes e consumo específico de combustível, conforme aumenta a eficiência em tração reduz o patinamento (figura 15). Gabriel Filho et al., (2004) avaliando o desempenho do trator em diferentes tipos de cobertura vegetal, encontrou uma relação semelhante a demonstrada para estas variáveis, onde com o menor patinamento proporcionou o aumento da eficiência em tração. Resultados equivalentes foram verificados por (MAZEIRO et al., 1997; WISMER e LUTH, 1973; ZOZ, 1987).

Da mesma forma, ao passo que a eficiência em tração tende a elevar seus índices, proporciona a redução do consumo específico de combustível, pois o trator apresenta menos perdas durante o processo de tração se tornando assim, mais eficiente (NEUJAHR e SCHLOSSER, 2001). Além disso, proporciona o uso mais eficiente do combustível por parte do motor, pois o menor consumo específico, representa a maior otimização do desempenho do motor em converter a energia química do combustível em energia mecânica (ALMEIDA, 1990).

Para a variável potência na barra de tração (PBT), ocorre uma associação negativa e significativa para o patinamento e consumo específico de combustível. Conforme os valores aumentam da primeira variável, tende a reduzir as outras (figura 15). A potência na barra de tração, demonstra o quanto da potência do motor está chegando na barra de tração, permitindo identificar a demanda de potência do trator para tracionar determinado implemento.

A potência na barra de tração é um produto da multiplicação da velocidade de deslocamento pela força de tração, conforme demonstrado na equação 1, com isso, qualquer fator que venha a influenciar nestes requisitos, interferem no desenvolvimento da potência na barra de tração. Neste sentido, com o aumento do patinamento, irá agir diretamente na velocidade de deslocamento e subsequente na potência na barra de tração. De acordo com Garcia, (2008) diversos fatores podem influenciar no desempenho na barra de tração, entre eles destaca-se a patinagem das rodas motrizes, tipo de solo, distribuição de peso e o tipo de rodado.

A redução do consumo específico de combustível, relacionado com o aumento da potência na barra de tração, pode estar associado a velocidade de deslocamento, conforme descrito anteriormente. Para a obtenção do consumo específico, além dos dados de densidade do combustível, consumo horário, também considera os valores da potência na barra de tração, sendo que, deste modo, quanto maior o valor, menor consumo específico de combustível. A eficiência em tração, apresentou correlação positiva e significativa elevada com a potência na

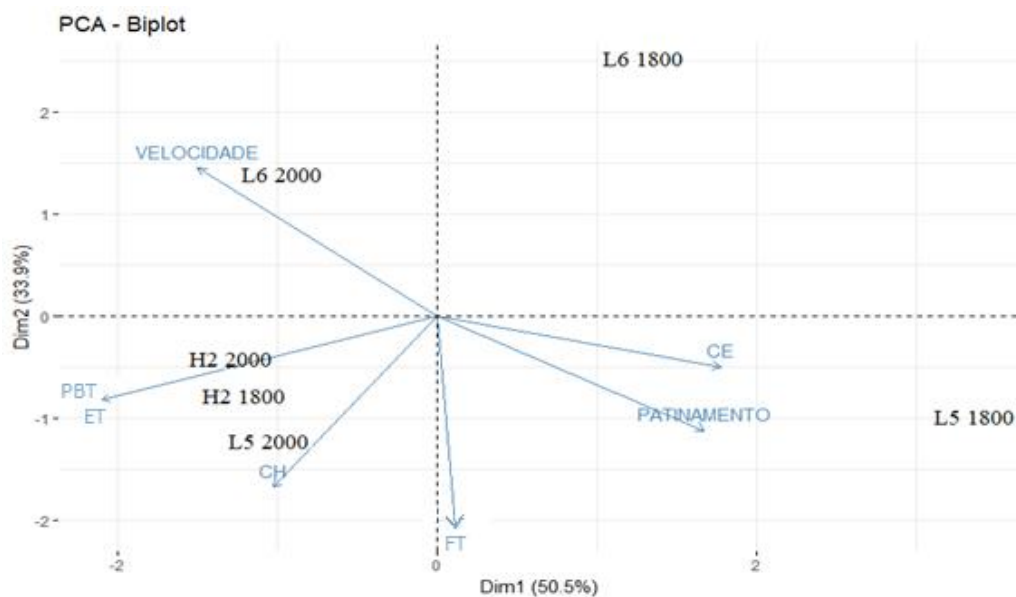
barra de tração, estando relacionado ao fato destas variáveis serem dependentes umas das outras.

Para o consumo horário de combustível (CH) evidenciou uma correlação positiva para as variáveis potência na barra de tração e eficiência em tração (figura 15). Para a primeira variável isto pode ocorrer pois a potência na barra de tração que é dependente da força de tração exercida pelo trator, com maiores demandas de força, o consumo horário de combustível tende a ser maior. Podendo também ser relacionado para a segunda variável, pois para a obter a eficiência em tração, é considerado a potência na barra de tração que foi desenvolvida.

A velocidade de deslocamento apresentou o maior número de correlações com as outras variáveis analisadas (figura 15), na medida que aumenta a velocidade tende a reduzir a força de tração, consumo específico de combustível e o patinamento das rodas motrizes. Já para a potência na barra de tração e a eficiência em tração aumenta com o incremento da velocidade do trator. Desta forma, a velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que podem interferir nas condições de desempenho do trator.

O gráfico de componentes principais BIPLLOT (Figura 16), demonstra a relação entre o tratamento e a variável estudada, identificando assim, qual o tratamento que apresenta maior influência nas variáveis que foram analisadas.

Figura 16: Componentes principais BIPLLOT para variáveis velocidade (km h^{-1}), CH – Consumo horário (L h^{-1}), CE – Consumo específico (g kW h^{-1}), FT - Força de tração (kN), δ - Patinamento (%), PBT - potência na barra de tração (kW) e ET - eficiência em tração.



Fonte: O autor

De acordo com o gráfico, para a variável velocidade, o tratamento que demonstrou o maior relevância foi o L6 2000 rpm, pois a mesmo possui a menor relação de transmissão dos tratamentos avaliados, proporcionando assim a maior velocidade de deslocamento. Para a potência na barra de tração e eficiência em tração, os tratamentos que apresentaram maior influência para essas variáveis foram o H2 1800 rpm e H2 2000 rpm, devido à similaridade entre eles nos resultados obtidos para estas variáveis.

Para a variável consumo horário de combustível, o maior valor foi verificado no tratamento L5 2000 rpm, podendo estar relacionado que neste tratamento o trator desenvolveu uma das maiores forças e potência na barra de tração, mas não diferindo estatisticamente com os tratamentos com a marcha H2. Para as variáveis consumo específico de combustível e o patinamento, o tratamento L5 1800 apresentou os maiores índices, estando relacionado a relação de transmissão, que maior produz maior torque disponível no rodado e consequentemente menor velocidade de deslocamento, influenciando no consumo específico. O tratamento L6 1800 rpm não demonstrou relação com nenhuma das variáveis, conforme demonstrado no gráfico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos é pode-se concluir que:

i. Mantendo a mesma marcha de deslocamento e reduzindo a rotação do motor, obteve o menor consumo horário de combustível, mas com a redução da velocidade do trator.

ii. Com o aumento da marcha de deslocamento e redução da rotação do motor, mantendo a velocidade do trator obteve-se redução no consumo horário de combustível, não influenciando nos resultados de outras variáveis como o consumo específico, patinamento e potência na barra de tração.

iii. O patinamento das rodas motrizes e a eficiência em tração apresentaram os melhores resultados nos tratamentos com rotação do motor em 2000 rpm.

iv. A correlação linear de Pearson demonstra que a velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que interferem nas condições de desempenho do trator.

6. RECOMENDAÇÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

Como recomendação sugere-se:

- i. Utilizar a técnica de modos de condução, com equipamentos leves visando a menor demanda de potência na barra de tração, visando observar maiores diferenças no consumo específico de combustível
- ii. Utilizar diferentes rotações do motor, visando o aproveitamento da potência máxima e o torque máximo do motor.
- iii. Realização de experimentos semelhantes com tratores com câmbios CVT.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D., XAVIER, R. S., GARCIA, A. P., MARQUES, A. R., RODRIGUES, R. L. The technological level of agricultural mechanization in the state of Ceará, Brazil. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.38, n.6, p.133-138, jan./feb. 2019.
- ALMEIDA, E. M. **Rendimento global de tratores em pista de concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. 1990.
- ALMEIDA, B. G., VIANA, J. H. M., TEIXEIRA, DONAGEMMA, G. K. Densidade do Solo. In: TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. **Manual de análise de solo**. Ed 3. Embrapa 2017, pg 65 – 75.
- AMORIM, M. Q., BORGES, R. C. P., BRITO, L. L. M., LIMA, I. O., MAIA, A. L., CHIODEROLI, C. A., SILVEIRA, W. M., NASCIMENTO, E. M. S. **Desempenho na barra de tração de um conjunto trator-semeadora**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 11, p. 26762-26769, nov. 2019.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE EP496.2: **Agricultural Machinery Management**. St Joseph, p. 367-72. 2003.
- BARROS, P. R. P., **Simulação da capacidade de tração de um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar em diferentes condições de superfície**. Tese Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 90p., 2012.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Outubro de 2022**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em 20/10/2022.
- CONCEITO.DE. **Conceito de equação**. (2012). <https://conceito.de/equacao>.
- CONCEITO.DE. **Conceito de formulário**. (2014). <https://conceito.de/formulario>.
- CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; MILAN, M. Tração dianteira auxiliar: desempenho em função do pneu dianteiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.154-6.
- CORTEZ, J. W., CARVALHO FILHO, A., DA SILVA, R. P., FURLANI, C. E. A. Consumo de um trator acoplado a uma semeadora adubadora em sistema de plantio direto para a cultura da soja. **Nucleus**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2005.
- CORTEZ, J. W., FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P., GROTTA, D. C. C., REIS, G. N. Consumo de energia na operação de semeadura em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36. 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007, p. 1-4.

DA SILVA, A. C. C. J.; ROSSATO, J., V.; KRAETZIG, E. R. S.; DA SILVA, V. R. Custos de produção da soja em uma propriedade rural no interior do Estado do Rio Grande do Sul. **Custos e Agronegócio**, v18, n. 1, Jan/Março - 2022.

DE COBO, L. B. D. Selección y dimensionamento de la maquinaria agrícola – em función de la potencia y condiciones de trabajo. In: **Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe**. Santiago, Chile, 1988.

EKINCI, S.; ÇARMAN, K. Effects Of Some Properties Of Drive Tires Used In Horticultural Tractors On Tractive Performance. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 23, n. 1, p. 84-94, 2017.

ELWALEED, A. K.; YAHYA, A.; ZPJADOE, M.; AHMAD, D.; KHEIRALLA, A. F. Net traction ratio prediction for high-lug agricultural tyre. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 43, p. 119-139, 2006.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 1999. 412 p.

ESTRADA, J. S.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S.; MARTINI, A. T.; SANTOS, G. O. **Mass of agricultural tractors available in the brazillian market**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.46, n.8, p.1390-1394, ago, 2016.

FARIAS, M. S., SCHLOSSER, J. F. **Ensaio De Motores Ciclo Diesel**. *Boletim Técnico*, v. 1, n. 01, 2018.

FARIAS, M. S., SCHLOSSER, J. F., CASALI, L., CELLA, M. C., MARTINI, A. T. Demanda energética na semeadura da soja com diferentes configurações de sulcadores. **Energia na agricultura**, v. 35, n. 4, p. 507-515, 2020.

FIGLIARESE, D. A., MACHADO, T. M., ZANDONADI, R. S., DE ARAÚJO, R. F. A., DA SILVA RICARDO, G. F., SCHIMITT, J. Desempenho de um trator agrícola em operações de preparo de solo no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 3, p. 288-295, 2019.

FIGLIARESE, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B. B.; SANDI, J.; MORELLIFERREIRA, F.; LANÇAS, K. F. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 2, p. 68-76, 2015.

FRANCETTO, T. R., DOS SANTOS ALONÇO, A., BELLÉ, M. P., VEIT, A. A., DA SILVA, W. P. Força de tração e potência demandada por mecanismos de corte e sulcadores de semeadora-adubadora. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 1, p. 17-23, 2016.

FURLANI, C. E. A., JÚNIOR, A. P., LOPES, A., SILVA, R. P., GROTTA, D. C. C., CORTEZ, J. W. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e velocidade. **Engenharia Agrícola., Jaboticabal**, v.27, n.2, p.456-462, maio/ago. 2007.

FURLANI, C. E. A., LOPES, A., SILVA, R.P. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. **Ciência Rural**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 920-923, jul/ago. 2005.

GABRIEL FILHO, A., SILVA, S. D. L., MODOLO, A. J., SILVEIRA, J. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 781-789, 2004.

GABRIEL FILHO, A., LANÇAS, K. P., LEITE, F., ACOSTA, J. J., JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 333-339, 2010.

GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura. Piracicaba – SP. 2008.

GRANJA, G. P. **Demanda energética de diferentes conjuntos mecanizados para implantação de modelos de recuperação de áreas degradadas**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade do Vale do São Francisco – Juazeiro, 2018

GRISSE, Robert D. L. “Gear up and throttle down” to save fuel. **Virginia Cooperative Extension**, 2020.

GOTOH, T.; TESHIMA, T.; SUGIURA, Y.; TAKAHASHI, H.; SHIMIZU, K.; SEKI, E. Reduction rates of fuel consumption by gear up and throttle down on an agricultural tractor. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 44, n. 4, p. 369-374, 2010.

GROGAN, J.; MORRIS, D.A.; SEARCY, S. W.; STOUT, B.A. Microcomputer-based tractor performance system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 38, p. 227-43, 1987.

GUPTA, C.; TEWARI, V. K.; KUMAR, A. A.; SHRIVASTAVA, P. Automatic tractor slipdraft embedded control system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 165, 2019.

HANSON P. A. M.; LINDGREN, M.; NORDIN M.; PETERSSON, M. A methodology for measuring the effects of transient loads on the fuel efficiency of agricultural tractors. **Applied Engineering in Agriculture**, v19, n.3, p.251-257, 2003.

HAUCK, D.; HOFMAN, V. L. **Gear up--throttle down!** 1979.

HERZOG, R. L. S., LEVIEN, R., BEUTLER, J. F., TREIN, C. R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002, Salvador, **Anais...** SBEA, 2002.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 336 p.

JANULEVICIUS, A., DAMANAUSKAS, V., PUPINIS, G. Effect of variations in front wheels driving lead on performance of a farm tractor with mechanical front-wheel-drive. **Journal of Terramechanics**. v. 77, p. 23-30, 2018.

JEANANE, C., BASHFORD, L.L., MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.64, p. 131-138, 1996.

JUNCHES, L. D., FERRARI, M. J. Custos na agricultura: Comparação entre as culturas de tabaco e de soja em uma propriedade de Taió/SC. **Contabilometria**, v. 10, n. 02, 2022.

KIM, Y. J.; CHUNG, S. O.; CHOI, C. H. Effects of gear selection of an agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage. **Soil & Tillage Research**, v.134, p.90-96, 2013.

KMIECIK, L. L.; JASPER, S. P.; PASSOS, M. L.; NETO, L. S.; ZIMMERMANN, G. G.; PARIZE, G. L. Agricultural tractor with diferente mass distributions between axles. **Ciência Rural**. v.53, n.3, p.01-09. 2023.

KOELSCH, R. K. Gear-up and Throttle-down to Save Fuel. **Agricultural Energy Management**. 1978.

KÖPPEN, W. **Climatologia. México**, Fundo de Cultura Econômica. 1931.

KUMAR, N.; PANDEY, K. P. Um programa básico visual para prever a melhor marcha e posição do acelerador para melhor economia de combustível para trator de 32 kW. **Computadores e Eletrônicos na Agricultura**, v. 119, p. 217-227, 2015.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores: Guia para seleção correta da pressão de inflação**. Botucatu: FCA/UNESP, SP. 1997. 33P. (Boletim técnico nº 1).

LIMA, L. L.; NUNES, G. H. S.; BEZERRA NETO, F. Coefficients of variation of some melon yield components and fruit quality traits: a proposal for classification. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.14-17, 2004.

LYNE, P. W. L., BURT, E. C., MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. **Transaction of the ASABE**, Saint Joseph, v. 27, n. 1, p. 5-11, 1984.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, 2006. 215p.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; NETO, P. C.; 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**, Campina Grande, v.7, n. 2, p. 382 – 386, jul. 2003.

MACMILLAN, R. H. **The mechanics of tractor-implement performance**, Chapter 4. 2002 <http://eprints.unimelb.edu.au/archive/00000204/>.

MAHL, D., GAMERO, C. A., BENEZ, S. H., FURLANI, C. E., SILVA, A. R. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

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

MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: Tecnologías y utilización**, B&H Grupo Editorial, Espanha, 2012, 844p.

MASEIRO, F. C.; LANÇAS, K. P; MONTEIRO, L. Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA). **Energia na Agricultura**. v.26, n.4, p.55-73, 2011.

MAZEIRO, J.V. G., MIALHE, L.G., CORRÊA, I. M., YANAY, D., MENEZES, J. F. Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.1-11, 1997.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura** v.2.2. EPU: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. São Paulo. Cap 13, p. 140-222 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**; Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1996. 722p.

MILAGRES, R. S., FURTADO JÚNIOR, M. R., SILVA, A. C. D., FONTES, J. M. Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do Mecanismo sulcador e velocidade de deslocamento. **Engenharia na agricultura**, v.23 n.2. p. 143 – 153, 2015.

MIRANDA, N. D. O., OLIVEIRA, M. D., NUNES, R. L. Desempenho operacional de trator com tração dianteira auxiliar na subsolagem de um inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 97-102, 2000.

MOLARI, G.; SEDONI, E. Experimental evaluation of power losses in a power-shift agricultural tractor transmission. **Biosystems Engineering**, v. 100, p. 117 – 183, 2008.

MONTANHA, G. K. **Avaliação do consumo energético no preparo de solo para a cultura do algodão irrigado**. 2010. vii, 77 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2010.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, P. R.; TRIGUEIRO D.; SILVA, G. J.; MOTA, W. A. **Avaliação energética de um trator 4x2 TDA equipado com rodados pneumáticos em função da lastragem com água**. Revista Varia Scientia Agrárias, v. 3, n. 1, p. 43-50, 2013.

NAUNHEIMER, H., BERTSCHE, B., RYBORZ, J., NOVAK, W. Overview of the Traffic–Vehicle–Transmission System. In: **Automotive Transmissions**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 28-72.

NETO, L. S., LASKOSKI, M., JASPER, S. P., DE CAMPOS, G. S., KMIĘCIK, L. L., PARIZE, G. L. Eficiência de tração de trator agrícola alterando a distribuição de massa entre

eixos e velocidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 25, n. 4 de 2021

NEUJAHR, E. B.; SCHLOSSER, J. F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação a tração. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.21, n.2, p. 180-189, mai. 2001

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **Agricultural tractor test search engine**. 2016.

ORLANDO JUNIOR, W. de A; FERNANDES, H. C.; FORASTIERE, P. R.; GUZZELLI, T. M.; ARAÚJO, G. de M. Energy demand of a mechanized unit for the implementation of common bean crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.25, n.01, p.65-71, 2021

PARK, S. H.; KIM, Y.J.; IM, D. H.; KIM, C. K.; JANG, Y.; KIM, S.S. C. Analysis of factors affecting fuel consumption of agricultural tractor. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 35, n. 1, p. 15-20, 2010.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.30, n.4, p.681-691, 2010.

PÉREZ-MARTÍNEZ, P. J. Energy consumption and emissions from the road transport in Spain: a conceptual approach. **Transport**, Londres, v.27, n.4, p.383-396, 2012.

PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V.C, BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33. 2004, São Pedro. **Anais... SBEA**, 2004.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2021.

REITER, H. How much power is lost in a tractor transmission? **Landtechnik**, v. 46, n. 1/2, p. 16-20, 1991.

RENIUS, K. T.; RESH, R. **Continuously variable tractor transmissions**. ASAE. St. Joshep, EUA: ASAE, 2005. (Distinguished lecture Series, 29).

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2019/2020, na região centro-sul de Mato Grosso do Sul**. Comunicado Técnico 251. Embrapa Agropecuária Oeste Dourados, MS. 2019.

ROSA, L. S. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados para avaliações de máquinas agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. 2019

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para a avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. 2009.

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

SÁ, M. A. C. **Dispersão do solo para análise granulométrica** – Planaltina, DF. Embrapa Cerrados 2021.

SCHLOSSER, J. F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras em la eficiencia em tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996. 286p. Tese (Doutorado em Ingeniería Rural) – Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria: UFSM, Departamento de Engenharia Rural, (Série técnica, I). 2001. 63 p.

SCHLOSSER, J. F., LINARES, P., MÁRQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1801-1805, 2004.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, p. 1021-1027, 2007.

SHMULEVICH, I.; OSETINSKY, A. Traction performance of a pushed/pulled drive wheel. **Journal of Terramechanics**, v.40, p.35-50 2003.

SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J.C.M.; RICIERI, R. P. Redução do consumo de combustível em função da rotação no eixo do motor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...SBEA**, 2003. SILVEIRA, J. C. M. D., FERNANDES, H. C., MODOLO, A. J., SILVA, S. D. L., TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 44-52, 2013.

SILVEIRA, W. M. **Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 TDA em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de deslocamento**. 71 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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

SOYLU, S.; ÇARMAN, K. Automatic control of wheel slip in soil tillage. **Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences**, v. 9, n. 2, p. 848-858, 2020.

SRIVASTAVA, A. K., GOERING, C. E., ROHRBACH, R. P., BUCKMASTER, D. R., **Engineering Principles of Agricultural Machines**. 2. Ed. St. Joseph, EUA: ASABE, 2006. 559p.

STANGE, K.; CHRISTIANSON, B.; ALCOCK, R.; VIK, B. Microcomputer goes to the field to gather tractor test data. **Agricultural Engineering**, v.65, p.21-26, 1984.

STRAPSON NETO, L.; LASKOSKI, M.; JASPER, S. P.; CAMPOS, G. S. de.; KMIECIK, L. L.; PARIZE, G. L. Agricultural tractor traction efficiency by changing the mass distribution between axles and speed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.25, n.4, p.277-281, 2021.

UPADHYAYA, S. K.; SIME, M.; RAGHUWANSHI, N.; ADLER, B. Semi-empirical traction prediction equations based on relevant soil parameters. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 141-154, 1997.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P. da; SILVA, V. F. A.; CAVICHIOLI, F. A.; COMPAGNON, A. M. Performance mechanized set tractor-planter of sugarcane planting in two operation shifts. **Journal of Agricultural Science**. v.5, n.11, p.54-66, 2013

WISMER, R.D.; LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.1, p.8-14, 1973.

YANAI, K., SILVEIRA, G. M. D., LANÇAS, K. P., CORRÊA, I. M., MAZIERO, J. V. G. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1427-1434, 1999.

ZIMMERMANN, G. G., SAVI, D., JASPER, S. P., KMIECIK, L. L., STRAPASSON NETO, L., SOBENKO, L. R. Desempenho energético de trator agrícola com rodas radiais simples versus diagonais duplas em operação de gradagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 356-364, 2022.

ZOZ, F., GRISSO, R. D. **Traction and tractor performance**. St Joseph: ASABE. 2003. 46p.

ZOZ, F. M. **Predicting tractor field performance** (updated). St. Joseph: ASAE, 1987. p.15. (ASAE Paper, 87-1623).