

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MAÍRA LASKOSKI

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES DISTRIBUIÇÕES
DE PESO ENTRE EIXOS EM TRÊS SUPERFÍCIES**

CURITIBA

2018

MAÍRA LASKOSKI

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES DISTRIBUIÇÕES
DE PESO ENTRE EIXOS EM TRÊS SUPERFÍCIES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Mecanização Agrícola, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano de Souza Ribeiro Bueno

CURITIBA

2018

345d	Laskoski, Maíra Desempenho de trator agrícola com diferentes distribuições de peso entre eixos em três superfícies / Maíra Laskoski. - Curitiba, 2018. 65 f.: il., grafs., tabs. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós- Graduação em Ciências do Solo. Orientador: Samir Paulo Jasper Coorientador: Luciano de Souza Ribeiro Bueno 1. Tratores agrícolas - Desempenho. 2. Máquinas agrícolas - Desempenho. 3. Agricultura - Mecanização. I. Jasper, Samir Paulo. II. Bueno, Luciano de Souza Ribeiro. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná. CDU 631.372
------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **Maira Laskoski**, intitulada: "**Desempenho de trator agrícola com diferentes distribuições de peso entre eixos em três superfícies**", do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela "**APROVAÇÃO**" da referida Dissertação. A candidata atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 16 de fevereiro de 2018.


Prof. Dr. Samir Paulo Jasper, Presidente


Prof. Dr. Fabricio Campos Masiero, 1º. Examinador


Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavallieri Polizeli, 1º. Examinador

“Investir em conhecimento rende sempre os melhores juros.”

Benjamin Franklin

A Deus, dono de toda ciência, sabedoria e poder, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de chegar até aqui. Muitas pessoas tem a capacidade, mas não têm a oportunidade. Ele a deu para mim, preparou as minhas mãos para a peleja e me sustentou com Seu amor e graça nos dias bons e nos dias maus, desembaraçou o meu caminho e me abriu as portas.

Ao meu esposo Rômulo Kuchisnki Passos, por compreender a importância dessa conquista e aceitar a minha ausência quando necessário, e me incentivar com sua imensa paciência e amor.

Aos meus pais, José Laskoski Filho e Elizabeth Dubas Laskoski por sonharem comigo e me incentivarem.

À Universidade Federal do Paraná, instituição centenária pela qual sou Eng^a Agrônoma, agradeço a oportunidade de cursar a Pós-graduação em Ciência do Solo. É uma honra ter feito parte do corpo discente desta universidade renomada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samir Paulo Jasper, agradeço imensamente pela credibilidade e confiança, obrigada por ter acreditado em mim. Obrigada pelos conselhos, por estimular meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica, agradeço sua dedicação que o fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar. Sem sua orientação este trabalho não seria possível. Muito obrigada!

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Luciano de Souza Ribeiro Bueno pela valiosa co-orientação na execução deste trabalho.

Agradeço aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná, pelos ensinamentos compartilhados nas disciplinas, e aos discentes pelas trocas de conhecimentos dentro e fora da sala de aula.

Aos funcionários do DSEA (Departamento de Solos e Engenharia Agrícola), em especial à Denise de Conti pela simpatia e gentileza.

A todos os colegas do LATA - Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas- que contribuíram para a execução deste trabalho (André Zella, Camilla Weber Langhinotti Parize, Fabrício Camargo, Jefferson Adriano Leite, Yasser Alibi Oiole). Agradeço em especial ao Leonardo Leonidas Kmiecik, ao Tiago Xavier da Silva e ao Marcos Cristiano Machioski, que não mediram esforços para ajudar no trabalho, dentro do laboratório e nos ensaios à campo, com notável excelência. Vocês foram fundamentais em cada etapa deste trabalho, muito obrigada!

Ao Engº Agrônomo instrutor Adailto Garcia, que com seu riquíssimo conhecimento em tratores agrícolas nos auxiliou em todo o tempo e nos proporcionou solução diante das adversidades, muito obrigada por seus indispensáveis ensinamentos e pela sua diligência em cada trabalho executado.

Ao centro de treinamento CNH Industrial, na pessoa do Engº Agrônomo Jocelito Buch e à New Holland, em nome do Engº Agrônomo Guilherme Parize, por ceder o trator utilizado neste estudo.

A CAPES pelo auxílio e apoio financeiro concedido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização desse sonho, estimulando-me a buscar o conhecimento.

Obrigada!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações das distribuições de peso entre eixos.	23
Tabela 2. Especificações do lastro hidráulico e sólido.	23
Tabela 3. Densidade do diesel (g.L^{-1}) e temperaturas médias ($^{\circ}\text{C}$) dos parâmetros: temperatura do óleo do motor (TOM), temperatura dos gases de exaustão do motor (TGE), temperatura do combustível na entrada ao tanque (TCE), temperatura do combustível no retorno ao tanque (TCR), temperatura do ar de admissão (TAD) e temperatura do ar de arrefecimento (TAR), em cada ensaio realizado.	39
Tabela 4. Caracterização do solo. Textura, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP), densidade do solo, densidade de partículas, umidade gravimétrica (U_G), umidade volumétrica (U_V) e RMSD nas faixas de solo firme (SF) e solo mobilizado (SM).	45
Tabela 5. Síntese da análise de variância para as diferentes Distribuições de Peso Entre Eixos (DPEE) e Superfícies (S) para carga de 30 kN na barra de tração.	48
Tabela 6. Interação no parâmetro Patinagem Dianteira– PAT D.	49
Tabela 7. Interação no parâmetro Patinagem Traseira– PAT T.	49
Tabela 8. Interação no parâmetro Rotação no Motor (RM).	49
Tabela 9. Interação no parâmetro Consumo Horário de Combustível (CHC).	49
Tabela 10. Interação no parâmetro Força na Barra de Tração (FBT).	50
Tabela 11. Interação no parâmetro Velocidade Operacional (VO).	50
Tabela 12. Interação no parâmetro Potência na Barra de Tração (PBT).	50
Tabela 13. Interação no parâmetro Rendimento na Barra de Tração (RBT).	50
Tabela 14. Interação no parâmetro Eficiência Térmica do Motor (ETM).	51
Tabela 15. Interação no parâmetro Carga Dinâmica (CD).	51
Tabela 16. Interação no parâmetro Coeficiente de Tração (CT).	51
Tabela 17. Interação no parâmetro Rendimento Tratório (RT).	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Superfícies solo firme e solo mobilizado utilizados no experimento.	18
Figura 2 - Preparo da faixa de solo firme e mobilizado.	19
Figura 3 - Pavimento de concreto para condução dos ensaios.	20
Figura 4 - Trator teste New Holland T6050.	21
Figura 5 - Comboio utilizado na execução dos ensaios.....	22
Figura 6 – Trator T6050 submetido à pesagem em cada mudança de DPPE.	24
Figura 7 - Vista lateral do esquema de instalação da instrumentação eletrônica utilizada no trator.	25
Figura 8 - Célula de carga acoplada na barra de tração.....	25
Figura 9 - Prensa hidráulica utilizada para calibração da célula de carga.	26
Figura 10 - Radar.....	27
Figura 11 – Encoder instalado na TDP.....	28
Figura 12 - Tacômetro digital.....	29
Figura 13 - Encoder no rodado traseiro.	30
Figura 14 - Fluxômetros utilizados na entrada e no retorno ao tanque.	31
Figura 15 - Sistema de aferição dos fluxômetros.	32
Figura 16 - Determinação da densidade do diesel.....	35
Figura 17 - Calibração dos termopares tipo K, com água, em Banho- Maria digital.....	38
Figura 18 - Determinação da textura do solo pelo Método do Densímetro.	42
Figura 19 - Ensaio de RMSP com o penetrômetro eletrônico.	43
Figura 20 - Coleta de amostras de solo em anéis volumétricos na área experimental.	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Função de aferição da célula de carga.....	26
Gráfico 2. Função de aferição do radar.	28
Gráfico 3. Função da relação de transmissão motor-TDP.....	29
Gráfico 4. Função de aferição do fluxômetro utilizado na entrada de combustível ao tanque (FEC).	32
Gráfico 5. Função de aferição do fluxômetro utilizado no retorno do combustível ao tanque (FRC).....	33
Gráfico 6. Função da densidade do diesel S10.....	35
Gráfico 7. Função de aferição do termopar de temperatura do combustível de entrada ao tanque (TCE).	39
Gráfico 8. Função de aferição do termopar de temperatura do combustível de retorno ao tanque (TCR).	40
Gráfico 9. Função de aferição do termopar de temperatura do ar de arrefecimento (TAR). ...	40
Gráfico 10. Função de aferição do termopar de temperatura dos gases de exaustão do motor (TGE).....	41
Gráfico 11. Função de aferição do termopar de temperatura do ar de admissão (TAD).....	41
Gráfico 12. Função de aferição do termopar da temperatura do óleo do motor (TOM).	42

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers
CD – Carga dinâmica
CHC – Consumo horário de combustível
CT – Coeficiente de tração
DPEE – Distribuição de peso entre eixos
ETM – Eficiência térmica do motor
FBT – Força na barra de tração
IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IP – Índice de plasticidade
LATA – Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas
LL – Limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development
PAT D – Patinagem dianteira
PAT T – Patinagem traseira
PBT – Potência na barra de tração
PR – Paraná
RBT – Rendimento na barra de tração
RM – Rotação do motor
RMSP – Resistência mecânica do solo à penetração
RPM – Rotações por minuto
RT – Rendimento tratorio
SAD – Sistema de aquisição de dados
SF – Solo firme
SM – Solo mobilizado
TDA – Tração dianteira auxiliar
TDP – Tomada de potência
UFPR – Universidade Federal do Paraná
VO – Velocidade Operacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Localização da área experimental.....	17
2.2. Preparo da área experimental.....	18
2.2.1. Faixas de solo mobilizado e firme.....	18
2.2.2. Pavimento de concreto	20
2.3. Tratores	20
2.3.1. Distribuições de peso entre eixos (DPPE)	22
2.3.2. Lastragem	23
2.4. Instrumentação eletrônica e determinação dos parâmetros de desempenho do trator ...	24
2.4.1. Força na barra de tração	25
2.4.2. Velocidade real de deslocamento	27
2.4.3. Rotação do Motor.....	28
2.4.4. Patinação	30
2.4.5. Consumo de combustível	30
2.4.6. Potência na barra de tração.....	33
2.4.7. Consumo de combustível específico	34
2.4.8. Rendimento na barra de tração	35
2.4.9. Eficiência térmica do motor	36
2.4.10. Carga dinâmica.....	36
2.4.11. Coeficiente de tração	36
2.4.12. Resistência ao rolamento.....	37
2.4.13. Rendimento tratório.....	37
2.4.14. Sensores de temperatura.....	38
2.5. Análises de solo	42
2.5.1. Textura	42
2.5.2. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)	42
2.5.3. Determinação da umidade do solo	43
2.5.4. Análises físicas do solo	44
2.6. Delineamento experimental	45
2.7. Análises estatísticas	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

4. CONCLUSÃO.....	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
6. REFERÊNCIAS	60

DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA COM DIFERENTES DISTRIBUIÇÕES DE PESO ENTRE EIXOS EM TRÊS SUPERFÍCIES¹

Autor: Maíra Laskoski

Orientador: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper

Co-Orientador: Prof. Dr. Luciano de Souza Ribeiro Bueno

RESUMO

Uma das maiores dificuldades com tratores agrícolas refere-se à correta adequação para condução das operações agrícolas a campo, pois o trator é utilizado em diversas operações e em diferentes solos. Os ensaios de desempenho de tratores em diferentes superfícies representam uma alternativa para conhecer e otimizar os parâmetros de desempenho dos tratores. O objetivo deste trabalho foi identificar a condição ideal de distribuição de peso entre eixos que, quando relacionada com diferentes superfícies de deslocamento, maximizará o desempenho do trator. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná, submetendo um trator instrumentado a ensaios de desempenho em pavimento de concreto, solo mobilizado e solo firme, com diferentes distribuições de peso entre eixos (DPEE) (35/65%, 40/60% e 45/55%), a 8 km.h⁻¹, tracionando carga constante de 30 kN. Com a instrumentação eletrônica e equações já conceituadas, foram determinados os parâmetros: patinagem, rotação do motor, consumo de combustível, força, potência e rendimento na barra de tração, eficiência térmica do motor, carga dinâmica, coeficiente de tração, resistência ao rolamento e rendimento tratório. A análise dos resultados permitiu concluir que em pavimento de concreto o desempenho do trator foi melhor, seguido pelo solo firme e, por último, a superfície mobilizada. O desempenho do trator com DPEE 40/60% foi similar à DPEE 35/65%, sendo estas as condições de distribuição de peso entre eixos que conferiram o melhor desempenho do trator. Portanto, para obter o máximo desempenho do trator é possível haver flexibilidade na DPEE, podendo-se trabalhar no eixo dianteiro com peso correspondente a 35 a 40% do peso total do trator e 60 a 65% no eixo traseiro.

Palavras-chave: adequação, instrumentação eletrônica, lastragem.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (65 p.) **Fevereiro, 2018.**

AGRICULTURAL TRACTOR PERFORMANCE WITH DIFFERENT WEIGHT DISTRIBUTIONS BETWEEN AXLES ON THREE SURFACES²

Author: Maíra Laskoski

Advisor: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper

Co- Advisor: Prof. Dr. Lucaino de Souza Ribeiro Bueno

ABSTRACT

One of the greatest difficulties with agricultural tractors is the correct suitability for conducting agricultural operations in the field, since the agricultural tractor is used in various operations and in different soil types. The tests of performance of tractors on different surfaces represents an alternative to know and optimize the parameters of performance of the tractors. The objective of this work was to identify the ideal condition of weight distribution between axles that, when related to different displacement surfaces, will maximize the performance of the tractor. The experiment was carried out at the Canguiri Experimental Farm, belonging to the Federal University of Paraná, submitting an instrumented tractor to performance tests on concrete pavement, mobilized soil and firm soil, with different weight distributions between axles (35/65%, 40 / 60% and 45/55%), at 8 km.h⁻¹, drawing a constant load of 30 kN. With the electronic instrumentation and equations already considered, parameters were determined: skating, motor rotation, fuel consumption, force, power and yield on the drawbar, motor thermal efficiency, dynamic load, coefficient of traction, rolling resistance and yield. The analysis of the results allowed to conclude that in concrete pavement the performance of the tractor was better, followed by the firm ground and, finally, in the mobilized surface. The performance of the tractor with DPEE 40/60% was similar to the DPEE 35/65%, these being the conditions of weight distribution between axes that gave the best performance of the tractor. Therefore, to achieve maximum performance of the tractor, there is flexibility in the DPEE, being able to work on the front axle with a weight corresponding to 35 to 40% of the total weight of the tractor and 60 to 65% on the rear axle.

Key-Words: adequacy, electronic instrumentation, ballasting.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (65 p.) **February, 2018.**

1. INTRODUÇÃO

O trator agrícola é utilizado em diversas operações e em diferentes solos, portanto, determinar a condição ideal de trabalho para condução das operações agrícolas é uma tarefa laboriosa. Em muitas regiões do Brasil, tratores e implementos agrícolas têm sido usados para dar suporte aos diferentes sistemas de produção, entretanto sem a correta adequação aos seus equipamentos e às condições de trabalho a campo, o que representa um dos maiores problemas quanto à utilização de tratores agrícolas.

A necessidade de verificar o desempenho dos tratores agrícolas é do interesse de pesquisadores há mais de três décadas. Nos últimos anos diversas pesquisas têm sido realizadas para conhecer e otimizar os parâmetros de desempenho dos tratores agrícolas, através de ensaios de desempenho com sistema de frenagem na barra de tração (Masiero et al., 2011; Russini, 2012; Spagnolo et al., 2013; Monteiro et al., 2013; Fiorese et al., 2015 a; Fiorese et al., 2015 b; Jasper et al., 2016). Nestes ensaios são estabelecidas condições semelhantes as que os tratores trabalham no campo e estão relacionadas com as características da interação com o solo (Mialhe, 1996), com o objetivo de auxiliar agricultores e fabricantes na solução de problemas com máquinas e implementos agrícolas, a fim de se obter a máxima capacidade operacional.

Para a pesquisa é fundamental obter informações confiáveis e detalhadas referente ao desempenho de tratores agrícolas, segundo Silva e Benez (1997) a instrumentação eletrônica possibilita a obtenção destas informações, para a adequação dos tratores e determinação do desempenho operacional do conjunto mecanizado.

Diferentes fatores afetam o desempenho do trator agrícola, entre eles a condição de superfície do solo, o tipo de pneu utilizado, o peso total do trator, a distribuição de peso sobre os rodados, a carga tracionada na barra de tração e a velocidade de deslocamento (Zoz e Grisso, 2003; Gabriel Filho et al., 2010; Monteiro et al., 2013; Spangolo et al., 2013; Leite, 2015). Estes fatores, isolados ou associados, determinam importantes parâmetros de desempenho, tais como a patinagem dos rodados, força na barra de tração, a eficiência de tração, potência e rendimento na barra de tração, o consumo de combustível, a eficiência térmica do motor, entre outros.

Outro fator que influencia no desempenho dos tratores agrícolas é a carga dinâmica, pois com o aumento da carga dinâmica no eixo, e por consequência no rodado, há redução da patinagem e aumento da capacidade de tração (Gu e Kushwara, 1994; Shekhovtsov et al., 2016).

A superfície de contato com o pneu do trator é um fator essencial quando se deseja estudar a força de tração desenvolvida por máquinas agrícolas, pois a interação entre pneu e solo determina as condições de tração do trator no que diz respeito à textura, compactação, tipo de cobertura existente sobre o solo e umidade do solo (Yanai et al., 1999; Barros, 2012). Nos solos agrícolas estas condições podem repercutir efeitos negativos para o desempenho de tratores, pois são solos que oferecem pouca aderência para os rodados motrizes. Todavia, a não observância de parâmetros operacionais do trator, como: velocidade de trabalho, potência requerida, tipos de pneus, índice de patinagem e adequação de lastro, durante as operações agrícolas, pode resultar em rápida e contínua degradação do solo, com consequências negativas para a capacidade produtiva deste recurso natural (Reis et al., 2007; Neres et al., 2012).

Avaliando as condições de superfície do solo, Gabriel Filho et al. (2010) concluíram que a condição da superfície do solo interfere na capacidade de um trator agrícola desenvolver tração. Russini (2012) constatou que 20 a 55% da energia disponível de um trator é desperdiçada na interface pneu-solo, provocando desgaste dos pneus e compactação do solo.

Dentre os fatores que interferem no desempenho de tratores agrícolas, podem-se considerar como preponderantes o peso total e a distribuição de peso por eixo no trator, que afetam diretamente na ocorrência de variação de patinagem e de consumo de combustível, bem como na velocidade de deslocamento (Monteiro et al., 2009; Vale et al., 2011; Neres et al., 2012; Russini, 2012; Sichocki et al., 2013).

Considerando a importância da adequação dos tratores em função das condições da superfície dos solos agrícolas, o desempenho operacional e energético do trator pode ser influenciado pela DPEE e pelas condições superficiais do solo. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi identificar a condição ideal de distribuição de peso entre eixos que, quando relacionada com diferentes superfícies de deslocamento, maximizará o desempenho do trator submetido à esforço de tração de 30 kN (OECD, 2012).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área experimental

A execução deste trabalho ocorreu no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), aliada à estrutura física e de recursos humanos do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA). Os ensaios foram realizados na Fazenda Experimental Cangüiri (FEC), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), entre as coordenadas geográficas: -25°22'38" e -25°24'46" de latitude sul, -49°09'05" e -49°06'40" de longitude

oeste, com altitude média de 920 m, nos dias 08 a 12/maio/2017. O solo da área experimental foi um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (Sugamoto, 2002), com declividade média de 1% (Figura 1).

A região é caracterizada por relevo suave ondulado, com clima temperado Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, com estações de verão e inverno bem definidas, sem estação seca, com temperatura média máxima de 22° C no verão e 8° C no inverno, com precipitação média anual de 1.480 mm, umidade relativa média de 87% e pressão atmosférica de 102 kPa (IAPAR, 2017).

Nos dias de condução do experimento a temperatura mínima média foi de 12°C e máxima média de 23°C, com umidade relativa do ar média de 75%, sem ocorrência de chuvas (INMET, 2017).



Figura 1 – Superfícies solo firme e solo mobilizado utilizados no experimento.

2.2. Preparo da área experimental

2.2.1. Faixas de solo mobilizado e firme

Para a condução dos ensaios a área foi previamente dividida em duas condições distintas de superfícies de solo: faixa de solo mobilizado e faixa de solo firme, que juntas representavam a área de 900 x 15 m, totalizando 13.500 m².

A faixa de solo mobilizado foi preparada com grade aradora modelo SGAC 14, da marca Civemasa, com 14 discos de diâmetro de 30 polegadas, com afiação interna; largura de

trabalho de 2340 mm e peso aproximado 3150 kg. Para acoplar a grade foi utilizado um trator da marca Case ih, modelo Puma 185, com potência nominal no motor de 134 kW (182 cv) de transmissão Semi-Power Shift 18x6. Sistema de levante hidráulico, com capacidade máxima de elevação de 6.616 kg.

Foram previamente efetuadas duas operações de gradagem, na profundidade média de 0,20 m para uniformizar a área de solo mobilizado (Figura 2). Durante os ensaios, quando o trator teste já havia percorrido toda a faixa de solo mobilizado, era realizada uma operação de gradagem para assegurar a condição de superfície mobilizada.

A faixa de solo firme foi previamente preparada com o mesmo trator Puma 185, com peso total de 6.725 kg, sem implemento acoplado, conduzido diversas vezes até que o solo estivesse na condição firme, ou seja, sem apresentar mobilização de solo na superfície e com RMSP superior à da superfície mobilizada (Figura 2).



Figura 2 - Preparo da faixa de solo firme e mobilizado.

2.2.2. Pavimento de concreto

A condução do experimento em pavimento de concreto seguiu algumas recomendações da OECD código 2 (OECD, 2012), norma que fornece diretrizes para ensaios de tração em pista de concreto.

O pavimento de concreto caracterizava-se como sendo totalmente plano, dimensões de 300 m x 4 m totalizando 1.200 m² de área, sem imperfeições ou buracos que pudessem prejudicar a qualidade dos dados coletados (Figura 3).

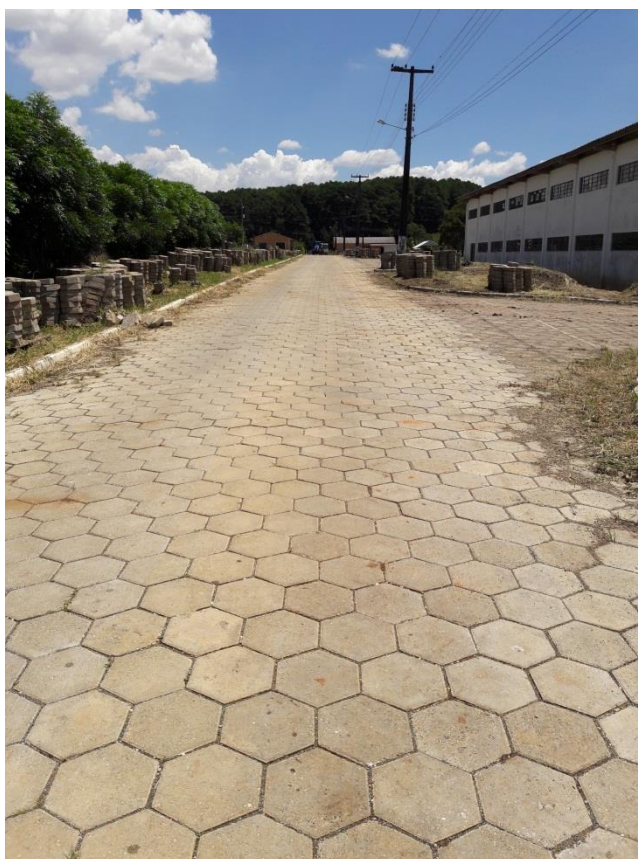


Figura 3 - Pavimento de concreto para condução dos ensaios.

2.3. Tratores

Para a realização dos ensaios foi utilizado o trator New Holland T6050 série Plus (Figura 4), denominado trator teste. A potência nominal foi de 93 kW (126 cv), motor turboalimentado com 6 cilindros, injeção mecânica e transmissão semi-powershift Standard 16x16 ElectrosiftTM, 4x2 com tração dianteira (TDA) acionada.

O motor do trator trabalhou com combustível óleo diesel S10 a 1970 RPM, rotação esta equivalente à rotação nominal da TDP (540 RPM). Foram utilizados pneus radiais, modelo Continental 380/85R28 com capacidade de carga de 17,34 kN no eixo dianteiro e Continental 460/85R38 com capacidade de carga de 27,38 kN no eixo traseiro, ambos com

pressão de insuflagem de 68,94 kPa (10 psi), que proporcionou antecipação de 3,8%. A distância entre eixos do trator era de 2,6 m e a altura da barra de tração 0,5 m.



Figura 4 - Trator teste New Holland T6050.

Foi selecionada a marcha B6 que corresponde à velocidade de 8 km.h⁻¹. A carga utilizada de 30 kN foi selecionada conforme recomenda o Código 2 da OECD (OECD, 2012). Para fornecer carga de 30 kN na barra de tração foi utilizado um trator de frenagem New Holland T8 385, com potência nominal de 250 kW (340 cv) e transmissão Full Power-Shift (FPS), 4x2 com TDA acionada. O comboio de ensaio utilizado pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 - Comboio utilizado na execução dos ensaios.

Os ensaios se constituíram em realizar frenagens controladas na barra de tração, através da mudança de marchas do trator freio. Este estava engatado ao trator teste por meio de cabo de aço, iniciaram-se os ensaios com o trator teste em movimento (até estabilização da velocidade) para atingir a carga desejada de 30 kN fornecida pelo trator freio. A carga tracionada foi mantida constante e foram admitidos 10% de variação. O arranjo dos tratores pode ser visualizado na Figura 5.

2.3.1. Distribuições de peso entre eixos (DPPE)

O trabalho foi conduzido com o trator operando com três diferentes DPPE e mantendo-se constante a relação peso/potência de 55 kg/cv, fundamentada na potência do motor e na carga tracionada (Schlosser et al., 2005). Foi estabelecido lastro hidráulico de 40% nos quatro pneus, que, segundo Monteiro et al. (2011), para pneus radiais esta condição favorece o melhor desempenho do trator. O peso total desejável para o trator foi igual a 6.930 kg (Tabela 1).

Tabela 1. Especificações das distribuições de peso entre eixos.

Características			
Carga estática sobre o eixo- kN(%)	Distribuição 1	Distribuição 2	Distribuição 3
Dianteiro	23,98 kN (2.446 kg) (35%)	27,39 kN (2.794 kg) (40%)	30,81 kN (3.142 kg) (45%)
Traseiro	45,27 kN (4.617 kg) (65%)	41,34 kN (4.216 kg) (60%)	37,49 kN (3.823 kg) (55%)
TOTAL [kg. kW ⁻¹]	69,26 kN (7.063 kg) [74,77 kg. kW ⁻¹]	68,74 kN (7.010 kg) [74,77 kg. kW ⁻¹]	68,30 kN (6.965 kg) [74,77 kg. kW ⁻¹]

2.3.2. Lastragem

O procedimento de lastragem do trator foi realizado com o mesmo sobre a balança, baseado nas requeridas DPEE, utilizando-se de lastro hidráulico (40% nos quatro pneus) e lastro sólido, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Especificações do lastro hidráulico e sólido.

Lastro Sólido – kN	Distribuição 1	Distribuição 2	Distribuição 3
Dianteiro	0,44 kN (45 kg) (1 placa de 45 kg)	3,08 kN (315 kg) (7 placas de 45 kg)	6,17 kN (630 kg) (14 placas de 45 kg)
Traseiro	6,17 kN (325 kg) (5 anéis de 65 kg)	2,45 kN (250 kg) (3 anéis de 65 kg+ 1 cubo de 55 kg)	1,27 kN (130 kg) (2 anéis de 65 kg)

Na Figura 6 é possível observar o procedimento de lastragem realizado nos eixos dianteiros e traseiros, com o trator sobre a balança. A balança utilizada foi da marca CELMIG, composta por 4 sapatas, modelo CM-1002.



Figura 6 – Trator T6050 submetido à pesagem em cada mudança de DPPE.

2.4. Instrumentação eletrônica e determinação dos parâmetros de desempenho do trator

O trator foi instrumentado com sensores que emitiam sinais para o sistema de aquisição de dados (SAD) (Figura 7), de placa de circuito impresso (PCI) projetado em software Proteus 8.1 (Labcenter Electronics), confeccionado em fresadora LPKF Protomat 93s a um microcomputador modelo aTmega 2560, marca Atmel, com 16MHz de clock, conversor analógico digital de 10 bits e alimentação de 12 Volts. A frequência de aquisição foi de um hertz e os dados armazenados diretamente em disco rígido (HD externo), para posterior tabulação e análise.

A instrumentação eletrônica foi previamente aferida no laboratório, com precisão de aferição de 97,3%.

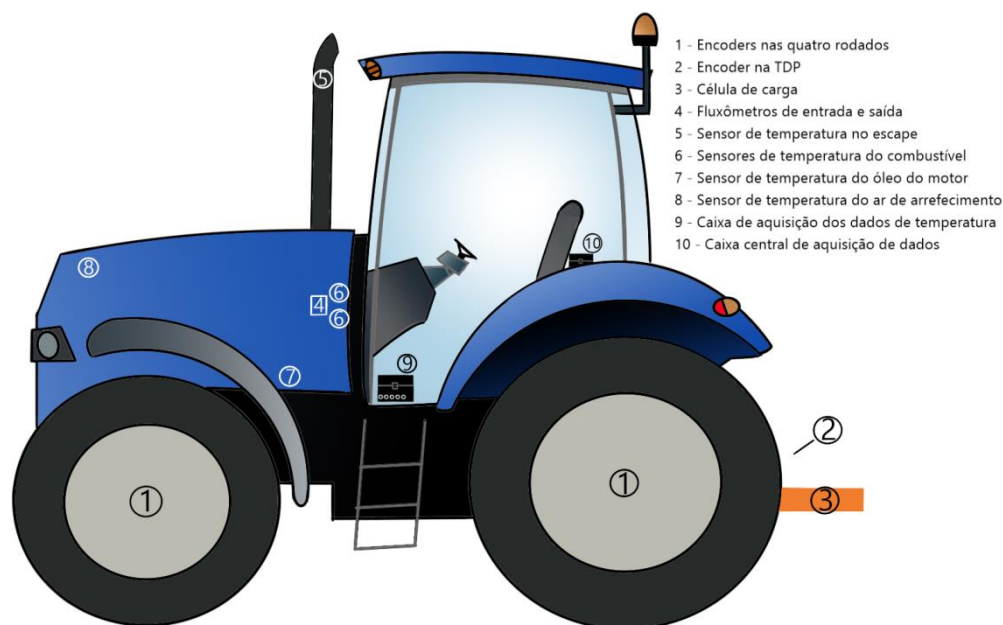


Figura 7 - Vista lateral do esquema de instalação da instrumentação eletrônica utilizada no trator.

2.4.1. Força na barra de tração

A força de tração foi mensurada utilizando uma célula de carga da marca Bermann, devidamente aferida, com capacidade de 100 kN, sensibilidade de $2,0 \pm 0,002$ mV/V e precisão 0,01 kN. A célula de carga foi instalada na barra de tração acoplada ao trator (Figura 8).



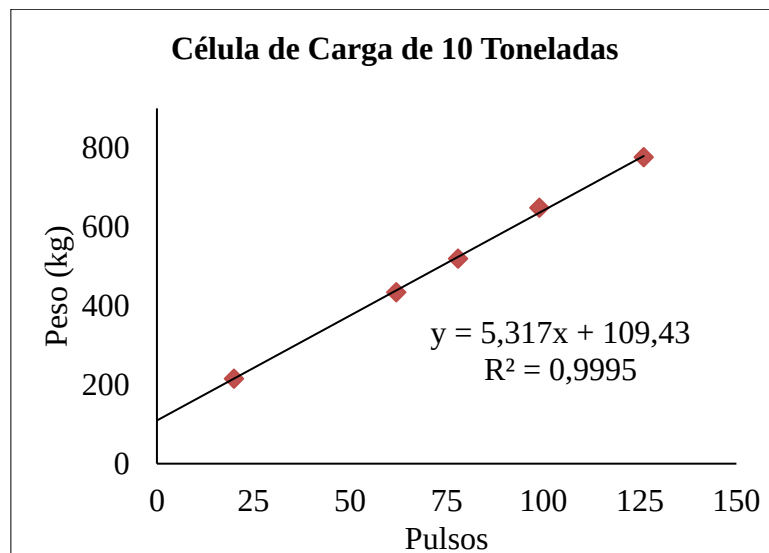
Figura 8 - Célula de carga acoplada na barra de tração.

A célula de carga foi previamente aferida no Laboratório de Ensaios Mecânicos, pertencente à Católica de Joinville – Centro Universitário – Santa Catarina, através de uma prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade de 2000 kN, aferida pelo INMETRO (Figura 9), utilizada em ensaios para determinação da resistência dos materiais, obtendo-se assim a função de aferição da célula de carga (Gráfico 1).



Figura 9 - Prensa hidráulica utilizada para calibração da célula de carga.

Gráfico 1. Função de aferição da célula de carga.



Os sinais elétricos gerados pela célula de carga eram convertidos e armazenados no microcomputador aTmega2560, e a força de tração foi determinada pela Eq. 1.

$$F_t = C \times NP + FC \quad (1)$$

em que,

F_t – força de tração, kN

C – constante de conversão (5,317 kN mV-1)

NC - número de pulsos emitidos pela célula de carga (mV)

FC – fator de calibração da célula (109,43), adimensional

2.4.2. Velocidade real de deslocamento

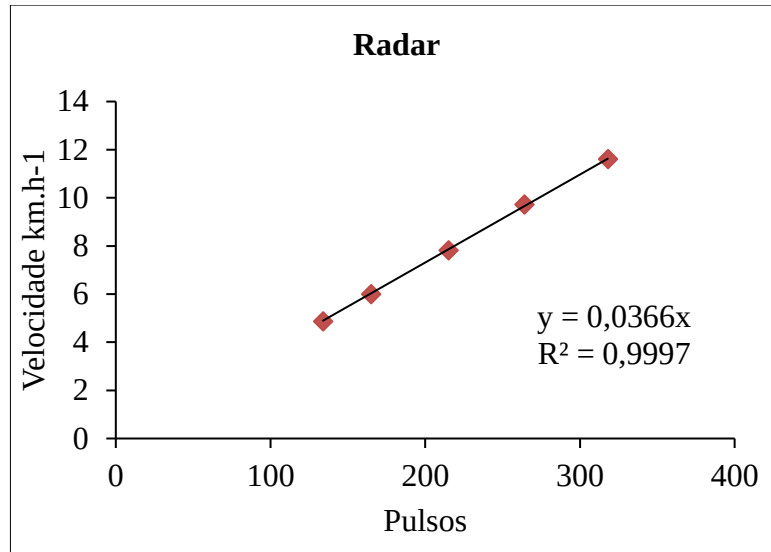
A velocidade de deslocamento do trator teste foi determinada através do radar da marca Vansco, modelo 740030^a (Figura 10). O radar foi instalado no chassi do trator, a fim de se ter menor interferência do movimento de deslocamento do trator.

O radar foi previamente aferido com o trator deslocando-se em uma distância conhecida de 100 m, com tempo cronometrado em cronômetro digital da marca Instrutherm modelo CD-2800, com diferentes velocidades de deslocamento do trator e registrando-se os pulsos emitidos pelo radar, que resultou na equação de função de aferição do radar (Gráfico 2).



Figura 10 – Radar

Gráfico 2. Função de aferição do radar.



A função obtida na aferição do radar foi utilizada para calcular a velocidade real de deslocamento do trator, utilizando-se do número de pulsos emitidos pelo radar (Eq. 2).

$$V_r = C \times NP \quad (2)$$

em que,

V_r = velocidade real de deslocamento, km.h⁻¹

C – constante do radar (0,0366), adimensional

NP – número de pulsos emitidos pelo radar, adimensional.

2.4.3. Rotação do Motor

A rotação do motor foi determinada a partir da rotação da tomada de potência (TDP), que foi mensurada com um encoder da marca Autonics, modelo E50S*, que geram 100 pulsos volta (Figura 11). A Eq. 3 foi utilizada para calcular a rotação do motor.



Figura 11 – Encoder instalado na TDP.

$$RM = RTDP \times RT \quad (3)$$

em que,

RM – rotação do motor, RPM

RTDP – número de pulsos da rotação da TDP, RPM

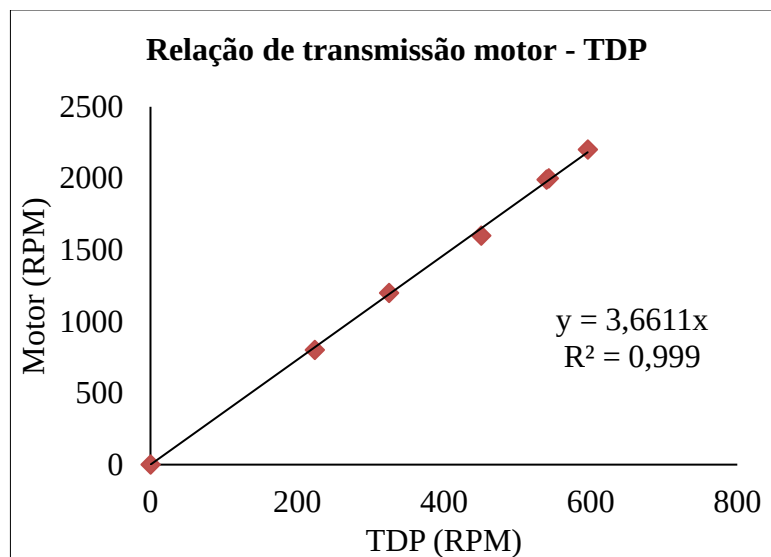
RT – relação de transmissão motor-TDP (3,6611), adimensional

A função da relação de transmissão da potência do motor para a tomada de potência (TDP) foi determinada com tacômetro digital da marca Victor modelo DM6236P (Figura 12), e expressa no Gráfico 3.



Figura 12 - Tacômetro digital.

Gráfico 3. Função da relação de transmissão motor-TDP.



2.4.4. Patinagem

A patinagem das quatro rodas motrizes foi determinada através de encoders da marca Autonics, modelo E50S* (Figura 13), que geram 100 pulsos volta.



Figura 13 - Encoder no rodado traseiro.

A patinagem foi obtida através das rotações dos rodados, com e sem carga, e determinada pela Eq. 4.

$$\text{Pat} = 100 \times \left(\frac{n_1 - n_0}{n_0} \right) \quad (4)$$

em que,

Pat – patinagem das rodas, %

n_0 – número de pulsos da roda sem carga

n_1 – número de pulsos da roda com carga

2.4.5. Consumo de combustível

O consumo de combustível foi mensurado por dois fluxômetros modelo Flowmate OVAL MIII – LSF 41L0-M2 (Figura 14), instalado no sistema de alimentação de combustível do trator (entrada e retorno a tanque).

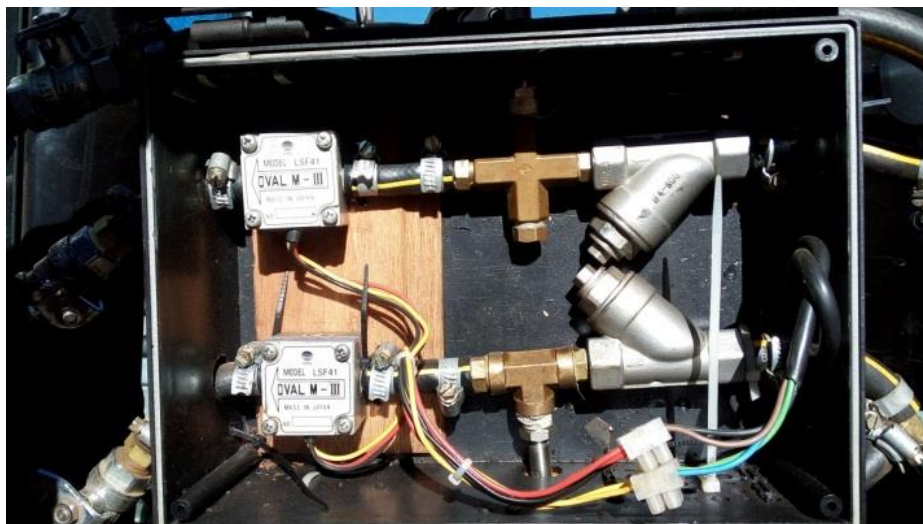


Figura 14 - Fluxômetros utilizados na entrada e no retorno ao tanque.

A aferição dos fluxômetros foi realizada através de uma metodologia de aferição composta por: um galão padrão comercial de 20 L, um filtro de água padrão comercial, mangueiras de 1 polegada de diâmetro, becker graduado e fluxômetro (Figura 15).

O procedimento de aferição baseou-se no princípio de funcionamento do fluxo de água do galão para o filtro, em que o diesel contido no galão era conduzido, através do filtro, para a mangueira conectada no fluxômetro, e o volume de diesel que passava pelo fluxômetro era contabilizado no becker graduado em mL. A aferição foi feita individualmente para cada fluxômetro, o qual era ligado à caixa de aquisição de dados que continha o microcomputador aTmega2560 que convertia os sinais emitidos pelo fluxômetro e, na forma de pulsos, transmitia para o computador através do cabo USB.

O resultado foi uma função de aferição para o fluxômetro de entrada do combustível ao tanque (FEC) e outra para o fluxômetro de retorno do combustível ao tanque (FRC), no Gráfico 4 e no Gráfico 5.

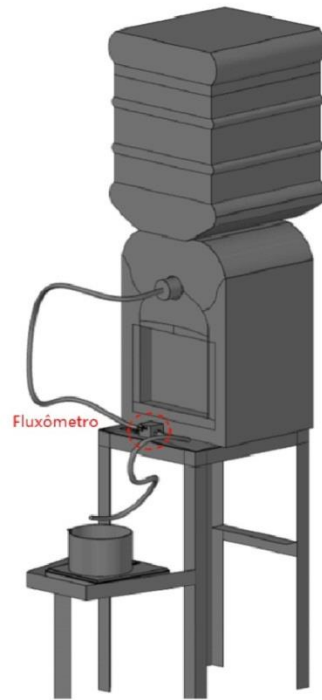


Figura 15 - Sistema de aferição dos fluxômetros.

Gráfico 4. Função de aferição do fluxômetro utilizado na entrada de combustível ao tanque (FEC).

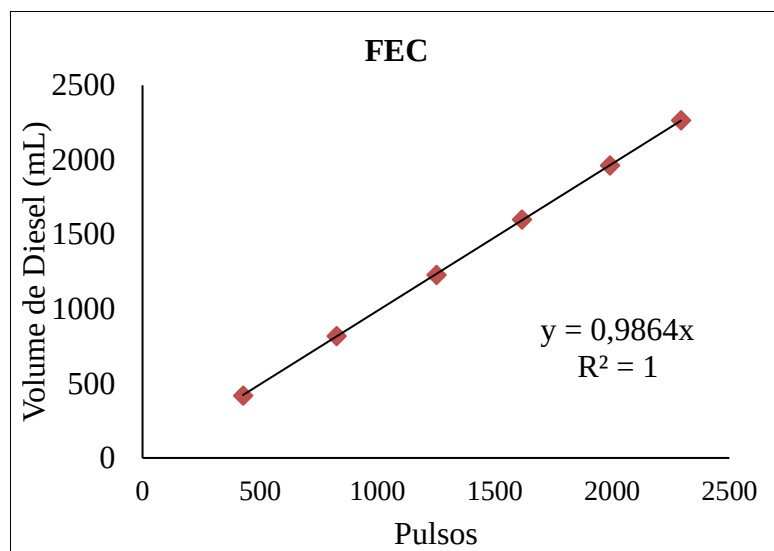
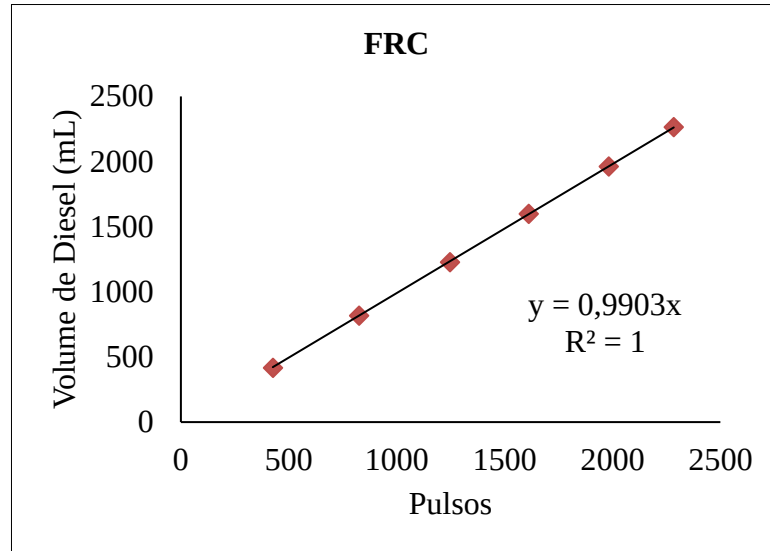


Gráfico 5. Função de aferição do fluxômetro utilizado no retorno do combustível ao tanque (FRC).



O consumo de combustível do trator teste é dado pela diferença do número de pulsos no início e no final da repetição do ensaio para cada fluxômetro, então esta diferença é convertida em volume através da função de aferição de cada fluxômetro, considerando a frequência de 1 mL por pulso. A diferença entre o volume no fluxômetro de entrada e no fluxômetro de saída é o consumo de combustível. A Eq. 5 foi utilizada no cálculo do consumo horário.

$$CH = \frac{V_{FET} - V_{FRT}}{t} \times 3,6 \quad (5)$$

em que:

CH – consumo horário de combustível, L.h⁻¹

V_{FET} – volume de combustível no fluxômetro de entrada, mL.s⁻¹

V_{FRT} – volume de combustível no fluxômetro de retorno ao tanque, mL.s⁻¹

t – tempo de percurso da repetição, s

2.4.6. Potência na barra de tração

A potência disponível na barra de tração foi obtida em função da força e da velocidade de deslocamento, de acordo com a Eq. 6.

$$PBT = \frac{FTM \times V}{3,6} \quad (6)$$

em que:

PBT – potência na barra, kW

FTM – força de tração média, kN

V – velocidade de deslocamento, km.h⁻¹

2.4.7. Consumo de combustível específico

O consumo de combustível específico foi determinado considerando a temperatura do combustível após a passagem em cada uma das parcelas, em função da potência na barra e do consumo horário, segundo a Eq. 7.

$$CCE = \frac{CH \times Dc}{Pb} \quad (7)$$

em que,

CCE – consumo de combustível específico, g.kW.h⁻¹

CH – consumo horário de combustível, L.h⁻¹

Dc – densidade relativa do combustível, g.L⁻¹

Pb – potência na barra, kW

A função de densidade do diesel S10 (Gráfico 6) utilizado no ensaio foi obtida em laboratório, seguindo-se a NBR 7148 de 11/2013, com densímetro para petróleo e seus derivados da marca Incoterm número de série 962/15, e termômetro da marca Incoterm número de série 87863/13 com escala de 1° C código 5003 (Figura 16). Com a função de densidade foi possível calcular a densidade do diesel, de acordo com a temperatura de entrada do combustível em cada ensaio (Tabela 3).

Os respectivos valores calculados de densidade do diesel foram utilizados no cálculo do CCE para cada ensaio (Eq.7).

Gráfico 6. Função da densidade do diesel S10.

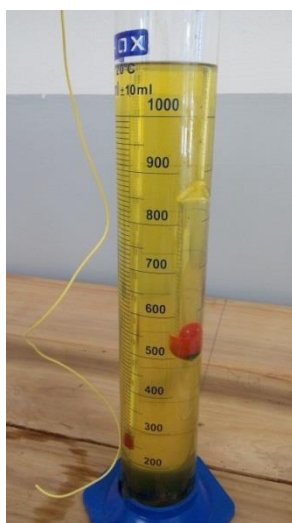
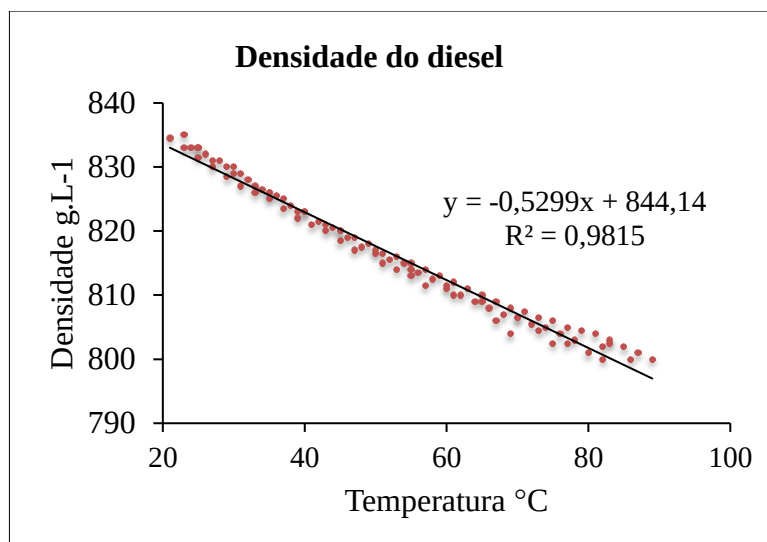


Figura 16 - Determinação da densidade do diesel.

2.4.8. Rendimento na barra de tração

O rendimento na barra de tração foi calculado em função da potência disponível na barra e no motor do trator, pela Eq. 8.

$$RBT = \frac{PBT}{P_{motor}} \times 100 \quad (8)$$

em que,

RBT – rendimento da barra de tração, %

PBT – potência na barra de tração, kW

P motor – potência do motor, kW

2.4.9. Eficiência térmica do motor

A eficiência térmica do motor foi calculada por meio de Eq. 9, segundo Farias et al. (2017).

$$ETM = \frac{3600}{CCE \times PCI} \quad (9)$$

em que,

ETM – eficiência térmica do motor, %

CEC – consumo de combustível específico, g.kW.h⁻¹

PCI – poder calorífico inferior do combustível = 42.295 kJ.kg⁻¹ (Farias et al., 2017).

2.4.10. Carga dinâmica

Os valores da carga dinâmica foram obtidos em função da carga estática sobre os rodados traseiros e da transferência de carga, conforme a Eq.10 (Gabriel Filho et al., 2010).

$$Cd = Ce + \frac{FTM \times y}{De} \quad (10)$$

em que,

Cd – carga dinâmica sobre o rodado, kN

Ce – carga estática sobre o rodado, kN

FTM – força de tração média, kN

y – altura da barra de tração, m

De – distância entre eixos, m

2.4.11. Coeficiente de tração

Os valores de coeficiente de tração foram obtidos pela Eq 11.

$$CT = \frac{FTM}{Cd} \quad (11)$$

em que,

CT – coeficiente de tração, adimensional

FTM – Força de tração média, kN

Cd – Carga dinâmica sobre os rodados, kN

2.4.12. Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento foi determinada pela Eq. 12 (Brixius, 1987; ASABE, 1999).

$$RR = FTM \times \left[(1/Bn) + 0,04 + \left(\frac{0,5 \times Pat}{\sqrt{Bn}} \right) \right] \quad (12)$$

em que,

RR – Resistência ao rolamento, kN

FTM – Força de tração média, kN

Pat – Patinagem das rodas, %

Bn – Índice adimensional (ASABE, 1999)

2.4.13. Rendimento tratório

O rendimento tratório foi obtido através da Eq. 13 (Brixius, 1987; ASABE, 1999), em função da tração bruta e da tração líquida desenvolvida pelo trator.

$$RT = (1-Pat) \times \left(\frac{TL}{TB} \right) \quad (13)$$

em que,

RT – Rendimento tratório, %

Pat – Patinagem das rodas, %

TL – Tração líquida, kN (Eq. 14)

TB – Tração bruta, kN (Eq. 15)

sendo,

$$TL = Cd \times \left[\left(0,88 \times (1-e^{-0,1 \times Bn}) \times (1-e^{-7,5 \times Pat}) \right) - \left(\frac{1}{Bn} \right) - \left(\frac{0,5 \times Pat}{\sqrt{Bn}} \right) \right] \quad (14)$$

$$TB = Cd \times [0,88 \times (1-e^{-0,1 \times Bn}) \times (1-e^{-7,5 \times Pat}) + 0,04] \quad (15)$$

donde,

Cd – carga dinâmica, kN

e – base dos logaritmos neperianos

Bn – índice adimensional (ASABE, 1999)

Pat – patinagem das rodas, %

2.4.14. Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura utilizados no trabalho, denominados termopares, do tipo K, mensuraram os parâmetros: temperatura do óleo do motor (TOM), temperatura dos gases de exaustão do motor (TGE), temperatura do combustível na entrada ao tanque (TCE), temperatura do combustível no retorno ao tanque (TCR), temperatura do ar de admissão (TAD) e temperatura do ar de arrefecimento (TAR), na Tabela 3.

Cada termopar foi previamente aferido (Figura 17), em Banho – Maria digital da marca Centauro, com água até a temperatura de 100°C, e assim obtiveram-se as funções de aferição para cada termopar (Gráfico 7, Gráfico 8, Gráfico 9, Gráfico 10, Gráfico 11 e Gráfico 12).

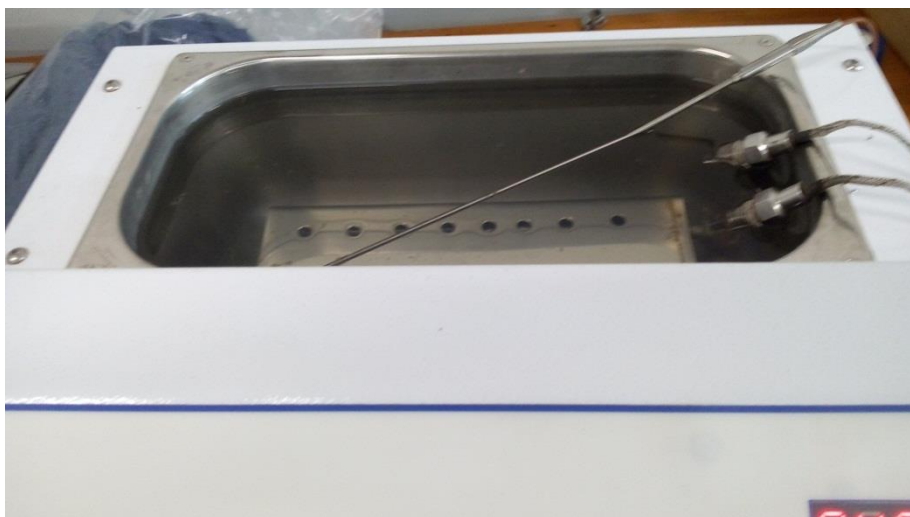


Figura 17 - Calibração dos termopares tipo K, com água, em Banho- Maria digital.

Tabela 3. Densidade do diesel (g.L^{-1}) e temperaturas médias ($^{\circ}\text{C}$) dos parâmetros: temperatura do óleo do motor (TOM), temperatura dos gases de exaustão do motor (TGE), temperatura do combustível na entrada ao tanque (TCE), temperatura do combustível no retorno ao tanque (TCR), temperatura do ar de admissão (TAD) e temperatura do ar de arrefecimento (TAR), em cada ensaio realizado.

Distribuição	Superfície	TOM	TGE	TCE	TCR	TAD	TAR	Densidade
				$^{\circ}\text{C}$				g.L^{-1}
35/65%	Concreto	106,44	195,51	32,39	50,10	55,10	40,26	826,98
	Firme	109,84	205,21	32,39	50,10	55,43	40,47	826,98
	Mobilizado	107,76	201,2	32,39	50,10	57,07	40,47	826,98
40/60%	Concreto	109,63	188,07	32,39	50,10	54,68	39,19	826,98
	Firme	106,03	178,45	32,39	50,10	55,11	39,66	826,98
	Mobilizado	111,80	202,12	32,39	50,10	55,09	40,46	826,98
45/55%	Concreto	113,11	195,88	32,39	50,10	56,99	40,08	826,98
	Firme	111,83	182,55	32,39	50,10	56,99	40,55	826,98
	Mobilizado	113,98	206,2	32,39	50,10	57,49	40,75	826,98

Gráfico 7. Função de aferição do termopar de temperatura do combustível de entrada ao tanque (TCE).

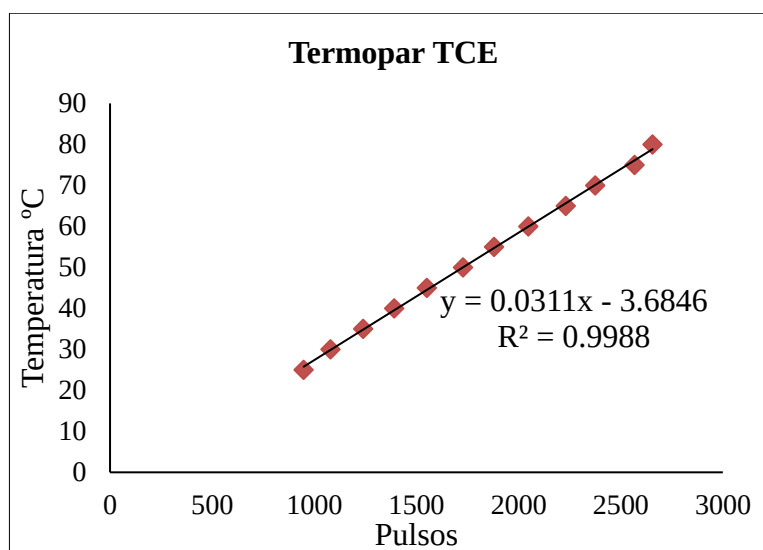


Gráfico 8. Função de aferição do termopar de temperatura do combustível de retorno ao tanque (TCR).

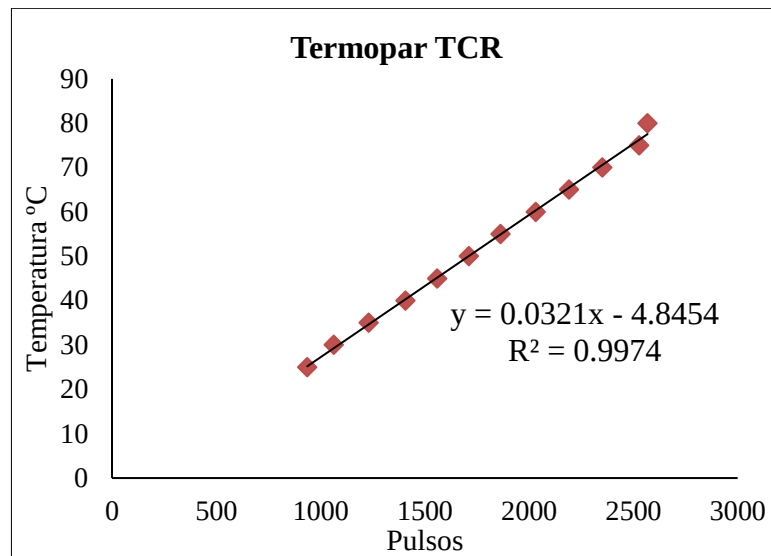


Gráfico 9. Função de aferição do termopar de temperatura do ar de arrefecimento (TAR).

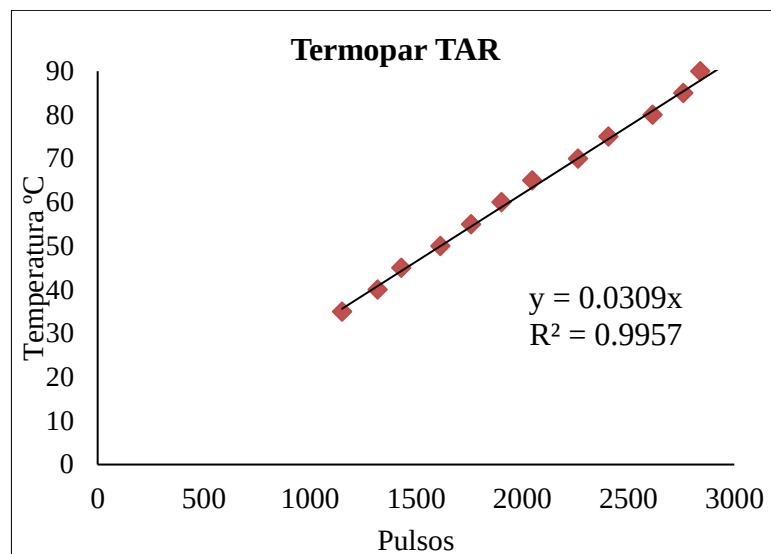


Gráfico 10. Função de aferição do termopar de temperatura dos gases de exaustão do motor (TGE).

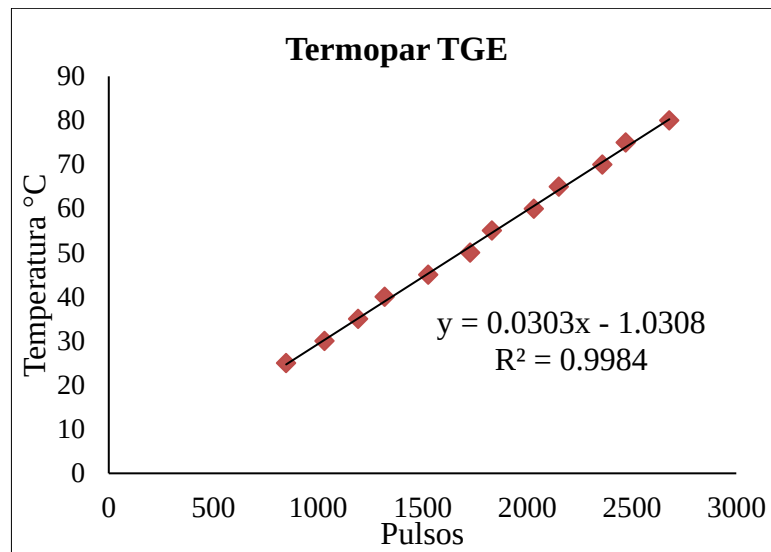


Gráfico 11. Função de aferição do termopar de temperatura do ar de admissão (TAD).

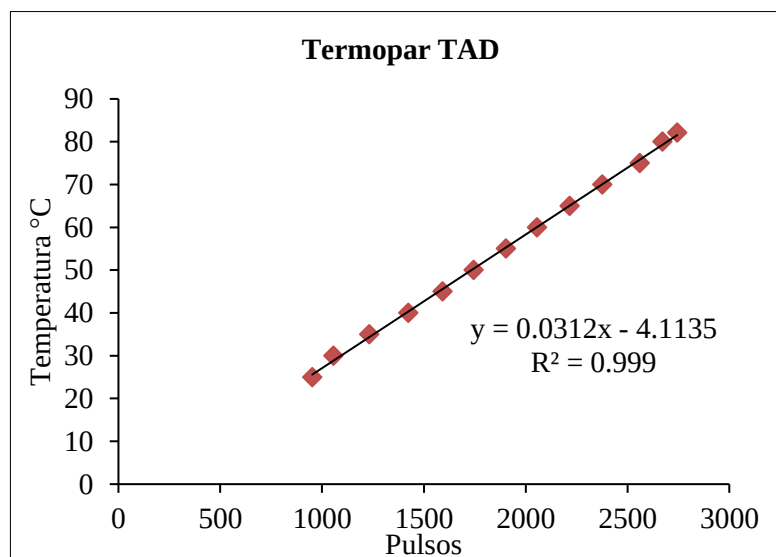
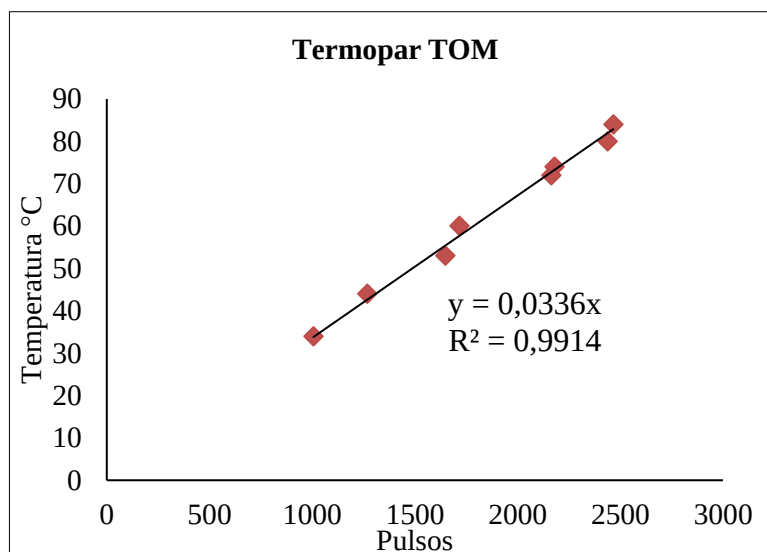


Gráfico 12. Função de aferição do termopar da temperatura do óleo do motor (TOM).



2.5 Análises de solo

2.5.1 Textura

Para a determinação da textura do solo foram coletadas amostras de solo na área destinada para os ensaios, em quatro trincheiras, duas em cada faixa de solo, nas profundidades de 0 – 0,2 m, 0,2 – 0,4 m. Em seguida, as amostras foram submetidas à análise pelo Método do Densímetro, baseado no densímetro de Bouyoucos, proposto por Gee e Bauder (1986), no Laboratório de Física do solo da UFPR (Figura 18).



Figura 18 - Determinação da textura do solo pelo Método do Densímetro.

2.5.2. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

Para avaliar a RMSP utilizou-se um penetrômetro eletrônico da marca Falker, modelo PLG 1020, com cone tipo 2 (diâmetro de 12,83 mm), como mostra a Figura 19. Os

ensaios de RMSP foram realizados até a profundidade de 0,4 m, sendo tomados cinco pontos por faixa de solo antes dos ensaios com o trator, onde para cada ponto foram feitas três repetições, perfazendo um total de 30 pontos em toda a área.



Figura 19 - Ensaio de RMSP com o penetrômetro eletrônico.

2.5.3. Determinação da umidade do solo

No momento da avaliação da RMSP foi determinada a umidade gravimétrica e volumétrica do solo.

Para determinar a umidade gravimétrica, foram coletadas amostras de solo deformadas, nas quatro trincheiras, duas em cada faixa de solo, nas profundidades de 0 – 0,1 m, 0,1 – 0,2 m, 0,2 – 0,3 m, 0,3 – 0,4 m, acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e vedadas. Em seguida, as amostras úmidas foram retiradas dos sacos plásticos, pesadas e então submetidas à secagem, em bandejas de alumínio na estufa à temperatura de 105° C, até massa constante (KLEIN, 2014).

A umidade volumétrica foi determinada pelo método do anel (KLEIN, 2014) (Figura 20). Foram coletadas amostras de solo indeformadas, nas quatro trincheiras, duas em cada faixa de solo, nas profundidades de 0 - 0,1 m, 0,1 – 0,2 m, 0,2 – 0,3 m, 0,3 – 0,4 m. As amostras foram acondicionadas em plástico filme PVC e transportadas para o Laboratório de Física do solo. O plástico filme PVC foi retirado e as amostras foram pesadas e levadas a estufa para secagem a temperatura de 105°C, até obtenção da massa constante.



Figura 20 - Coleta de amostras de solo em anéis volumétricos na área experimental.

2.5.4. Análises físicas do solo

A determinação da densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico (KLEIN, 2014).

Para o limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade foi utilizado o método Casagrande (ABNT NBR 6457, ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180) com secagem prévia das amostras.

Na Tabela 4 constam os valores médios das características físicas, RMSP e umidade do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.

Tabela 4. Caracterização do solo. Textura, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP), densidade do solo, densidade de partículas, umidade gravimétrica (U_G), umidade volumétrica (U_V) e RMSP nas faixas de solo firme (SF) e solo mobilizado (SM).

Característica		Pista SF	Pista SM
Areia total (g.kg^{-1})		234	228
Silte (g.kg^{-1})		98	109
Argila (g.kg^{-1})		669	663
LL (%)		37,5	39,5
LP (%)		29,16	30,01
IP (%)		8,33	9,48
Densidade do solo (g.cm^3)	0 – 0,1 m	1,31	1,20
	0,1 – 0,2 m	1,25	1,21
	0,2 – 0,3 m	1,44	1,37
	0,3 – 0,4 m	1,24	1,22
U_G (g.g^{-1})	0 – 0,1 m	26,66	27,90
	0,1 – 0,2 m	33,94	31,58
	0,2 – 0,3 m	34,00	30,56
	0,3 – 0,4 m	36,52	31,66
U_V (g.g^{-1})	0 – 0,1 m	24,04	22,79
	0,1 – 0,2 m	30,72	27,55
	0,2 – 0,3 m	30,99	30,49
	0,3 – 0,4 m	38,52	36,40
RMSP (MPa)	0 – 0,1 m	1,172	0,138
	0,1 – 0,2 m	2,501	0,889
	0,2 – 0,3 m	2,104	2,173
	0,3 – 0,4 m	1,708	1,855

2.6. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em faixas, esquema fatorial 3 x 3, sendo três faixas definidas pelas superfícies de rodagem e três distribuições de peso entre eixos. Para cada tratamento foram utilizadas cinco repetições, totalizando 45 parcelas.

2.7. Análises estatísticas

Com a finalização da coleta de dados na mensuração do desempenho do trator, passou-se para a etapa de análise de dados. Inicialmente os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas Microsoft Excel ® e utilizadas as equações do item 2.4.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro – Wilk (Torman et al., 2012) e a análise de variância (ANOVA). Em seguida, as médias das amostras foram submetidas ao “teste t – student”, considerando os níveis de 1% e 5% de probabilidade. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software Sisvar ® (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese de que o desempenho do trator pode ser alterado por influencia da distribuição de pesos entre eixos (DPEE) e pelas condições da superfície do solo (S) foi confirmada pela variância dos valores obtidos, pois a maioria dos parâmetros relacionados com o desempenho apresentaram diferenças significativas.

As análises dos parâmetros de desempenho estudados para as três DPEE, em cada condição de superfície, estão apresentadas na Tabela 5.

A análise da variância para a interação entre as DPEE e as superfícies de solo não apresentou diferença significativa apenas nos parâmetros consumo de combustível específico (CCE) e resistência ao rolamento (RR). Yanai et al. (1999), Gabriel Filho et al. (2004), Gabriel Filho et al. (2010), Masiero et al. (2011) e Barros (2012) também observaram que a condição da superfície do solo alterou o desempenho do trator. Nas Tabelas 6 a 17 constam as análises da variância para a interação.

Tabela 5. Síntese da análise de variância para as diferentes Distribuições de Peso Entre Eixos (DPEE) e Superfícies (S) para carga de 30 kN na barra de tração.

	PAT D	PAT T	RM	CHC	FBT	VO	PBT	RBT	CCE	ETM	CD	CT	RR	RT
	%	%	RPM	L/H	kN	Km.h ⁻¹	kW	%	g.kW.h ⁻¹	%	kN	%	kN	%
Distribuição (D)														
35/65%	9,62 B	9,52 B	1.918 A	20,78 A	28,91 B	7,06 A	56,57	61,08	304,48 A	28,14 B	50,73 A	0,57 C	4,36	73,87 A
40/60%	10,60 A	10,90 A	1.907 A	21,17 A	29,31 AB	6,96 B	56,59	61,09	311,33 A	27,53 B	46,84 B	0,62 B	4,38	73,47 A
45/55%	10,93 A	10,71 A	1.874 B	19,87 B	29,74 A	6,97 B	57,46	62,05	288,26 B	29,86 A	43,10 C	0,69 A	4,44	72,00 B
Superfícies (S)														
Concreto	3,88 C	3,76 C	1.951 A	19,79 B	29,06	7,64 A	61,62 A	66,53 A	265,82 C	32,11 A	46,84	0,62	3,37 C	75,40 A
Firme	14,38 A	14,38 A	1.922 B	21,14 A	29,50	6,81 B	55,72 B	60,17 B	313,75 B	27,19 B	46,91	0,63	4,26 B	74,87 A
Mobilizada	12,88 B	12,99 B	1.825 C	20,89 A	29,39	6,53 C	53,28 C	57,53 C	324,50 A	26,26 C	46,92	0,63	5,57 A	69,07 B
Teste F														
D	4,56	6,65	9,62	17,29	5,31	6,69	1,97	1,981	25,60	31,04	12789,53	310,465	1,35	13,58
	*	**	**	**	**	**	NS	NS	**	**	**	**	NS	**
S	319,28	338,36	79,47	20,23	1,57	736,06	139,21	139,11	177,96	211,49	1,55	2,18	876,87	173,52
	**	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	NS	NS	**	**
D x S	6,54	5,77	16,00	5,78	8,92	44,94	9,162	9,15	1,30	2,75	9,08	7,98	2,13	5,83
	**	**	**	**	**	**	**	**	NS	*	**	**	NS	**
Coef. Var (%)	11,85	11,71	1,52	3,01	2,37	1,17	2,47	2,47	3,01	2,93	0,28	2,09	3,29	1,41

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste t”, a 5%. NS: Não significativo; *: Significativo (5%) e **: Significativo (1%). CV %: Coeficiente de variação.

Tabela 6. Interação no parâmetro Patinagem Dianteira– PAT D.

Patinagem Dianteira – PAT D (%)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	4,40 Ac	4,23 Ab	3,03 Ac
Firme	13,04 Ba	14,04 Ba	16,06 Aa
Mobilizado	11,42 Bb	14,51 Aa	12,70 Bb

Nas Tabelas 6 a 17, médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, diferem pelo “teste t” a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Interação no parâmetro Patinagem Traseira– PAT T.

Patinagem Traseira – PAT T(%)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	3,86 Ac	4,29 Ab	3,13 Ac
Firme	13,17 Ba	13,83 Ba	16,14 Aa
Mobilizado	11,53 Bb	14,56 Aa	12,86 Bb

Tabela 8. Interação no parâmetro Rotação no Motor (RM).

Rotação no Motor – RM (RPM)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	1.940 Aa	1.962 Aa	1.952 Aa
Firme	1.949 Aa	1.975 Aa	1.841 Bb
Mobilizado	1.865 Ab	1.781 Cb	1.828 Bb

Tabela 9. Interação no parâmetro Consumo Horário de Combustível (CHC).

Consumo Horário de Combustível – CHC (L h⁻¹)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	19,27 Bb	21,00 Aab	19,10 Bb
Firme	21,65 Aa	21,72 Aa	20,06 Ba
Mobilizado	21,42 Aa	20,80 ABb	20,45 Ba

Tabela 10. Interação no parâmetro Força na Barra de Tração (FBT).

Força na Barra de Tração – FBT (kN)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	28,17 Bb	29,63 Aa	29,39 Ab
Firme	28,99 Bab	28,62 Bb	30,88 Aa
Mobilizado	28,94 Aa	29,67 Aa	28,94 Ab

Tabela 11. Interação no parâmetro Velocidade Operacional (VO).

Velocidade Operacional – VO (km h⁻¹)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	7,53 Ba	7,62 Ba	7,76 Aa
Firme	6,97 Ab	6,96 Ab	6,50 Bc
Mobilizado	6,67 Ac	6,29 Bc	6,64 Ab

Tabela 12. Interação no parâmetro Potência na Barra de Tração (PBT).

Potência na Barra de Tração (kW)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	58,88 Aa	62,69 Aa	63,28 Aa
Firme	56,10 Ab	55,32 Ab	55,75 Ab
Mobilizado	54,72 Ab	51,77 Bc	53,36 ABc

Tabela 13. Interação no parâmetro Rendimento na Barra de Tração (RBT).

Rendimento na Barra de Tração – RBT (%)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	63,58 Ba	67,69 Aa	68,33 Aa
Firme	60,57 Ab	59,74 Ab	60,20 Ab
Mobilizado	59,09 Ab	55,90 Bc	57,62 ABc

Tabela 14. Interação no parâmetro Eficiência Térmica do Motor (ETM).

Eficiência Térmica do Motor – ETM (%)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	31,46 Ba	30,74 Ba	34,11 Aa
Firme	26,69 Bb	26,26 Bb	28,61 Ab
Mobilizado	26,30 ABb	25,62 Bb	26,85 Ac

Tabela 15. Interação no parâmetro Carga Dinâmica (CD).

Carga Dinâmica – CD (kN)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	50,60 Ac	46,90 Ba	43,04 Cb
Firme	50,74 Aab	46,71 Bb	43,32 Ca
Mobilizado	50,86 Aa	46,91 Ba	42,95 Cb

Tabela 16. Interação no parâmetro Coeficiente de Tração (CT).

Coeficiente de Tração – CT (adimensional)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	0,56 Ca	0,63 Bab	0,68 Ab
Firme	0,57 Cab	0,61 Bb	0,71 Ab
Mobilizado	0,58 Ca	0,63 Ba	0,67 Aa

Tabela 17. Interação no parâmetro Rendimento Tratório (RT).

Rendimento Tratório - RT (%)			
Superfícies	Distribuição (%)		
	35/65	40/60	45/55
Concreto	76,60 Aa	76,60 Aa	73,00 Aa
Firme	75,60 Ba	75,20 Bb	73,80 Ba
Mobilizado	69,40 Ab	68,60 Ac	69,20 Ab

Na Tabela 5, o menor peso no eixo dianteiro na DPEE 35/65% promoveu menor PAT D, 9,24% menor que na DPEE 40/60% e 11,98 % menor que na DPEE 45/55%, indicando que cargas superiores a 35% do peso total do trator no eixo dianteiro aumentam a PAT D. O maior peso no eixo traseiro na DPEE 35/65% resultou em menor PAT T, 12,66% menor que na DPEE 40/60% e 11,11% menor que na DPEE 45/55%, comprovando o melhor aproveitamento do peso do trator para aderência das rodas traseiras às superfícies.

Gabriel Filho et al. (2010) trabalharam com um trator 4x2 com a TDA acionada em condição de tracionamento, e observaram que com o aumento da velocidade do trator de 3,5 km h⁻¹ para 6,0 km h⁻¹ não foram obtidas variações significativas na patinagem dos rodados. Leite (2015), ao avaliar a patinagem em trator equipado com pneus radiais, concluiu que a patinagem não foi influenciada significativamente pela velocidade de deslocamento. Neres et al. (2012) verificaram que o aumento de peso nos eixos dianteiro e traseiro do trator, através da adição de lastro, reduziu os índices de patinagem. Portanto, uma vez que no presente trabalho foi estabelecida a velocidade de 8 km.h⁻¹ nos ensaios, as maiores PAT D e PAT T nas DPEE 40/60% e 45/55% estão relacionadas com a distribuição de peso nos eixos dianteiro e traseiro do trator. A queda na velocidade operacional (VO) verificada nas DPEE 40/60% e 45/55% foram causadas pela queda na rotação do motor, em virtude do maior peso no eixo dianteiro nas DPEE 40/60% e 45/55% que dificultou o deslizamento dos rodados no solo e aumentou os índices de PAT D e PAT T (Tabela 5).

Um dos fatores que causa a patinagem é o tipo de superfície em contato com a banda de rodagem dos pneus (Herzog et al., 2002). Confrontando os índices de patinagem nas três superfícies (Tabela 5), no concreto os valores de PAT D e a PAT T foram, respectivamente, 73,01% e 73,85 % menores em relação à superfície firme, em comparação à superfície mobilizada a PAT D e a PAT T em superfície de concreto foram, respectivamente, 69,87 % e 71,05% menores. Portanto, como era de se esperar, dentre as três superfícies ensaiadas, no concreto o trator apresentou menor patinagem dianteira e traseira para as três DPEE (Tabela 6 e Tabela 7), em decorrência da maior aderência do pneu à superfície de concreto. Em superfície firme e mobilizada o solo não ofereceu resistência suficiente à força tangencial produzida pelos rodados, explicando a maior patinagem nestas duas condições de superfície (Tabela 6 e Tabela 7). Os resultados corroboram com Monteiro et al. (2011) que determinaram desempenho de tratores agrícolas em pista de concreto e solo agrícola, e concluiu que em condições de superfície não pavimentada ocorre aumento nos valores de patinagem.

A ASABE EP 496.2 (ASABE, 2003) define que para se obter o máximo desempenho do trator os índices de patinagem para superfície de concreto devem estar entre 4 a 8%, para superfície firme entre 8 e 10 %, e para superfície mobilizada os índices de patinagem devem estar entre 11 a 13%. Analisando a patinagem para as diferentes superfícies (Tabela 6 e Tabela 7), nota-se que no concreto as DPEE 35/65% e 40/60% se enquadraram no recomendado pela ASABE EP 496.2 (ASABE, 2003), com a DPEE 45/55% as patinagens do trator foram abaixo do recomendado, demonstrando excesso de peso no eixo dianteiro. Em superfície firme, nas três DPEE, as patinagens ocorreram acima do valor médio sugerido pela ASABE EP 496.2 (ASABE, 2003) (Tabela 6 e Tabela 7). Para a superfície mobilizada os valores de patinagem do trator nas DPEE 35/65% e 45/55% foram semelhantes ao proposto pela norma, todavia a DPEE 35/65% proporcionou menores patinagens dianteira (Tabela 6) e traseira (Tabela 7).

Na Tabela 5, os índices de PAT D e PAT T do trator em superfície firme foram maiores que na superfície mobilizada em 10,43 % e 9,66 %, respectivamente. Este resultado não correspondeu ao encontrado por Lanças (1996), Gabriel Filho et al. (2010) e Masiero et al. (2011). Isto é explicado pela queda na RM do trator que ocorreu na superfície mobilizada, 5,05% menor que a RM na superfície firme (Tabela 5). A queda na RM quando o trator se deslocou em superfície mobilizada foi resultado do maior afundamento e deformação dos pneus nesta condição de superfície (Mialhe, 1991). Segundo Drescher et al. (2011), alterações na densidade do solo nas áreas agrícolas pode interferir diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas.

Nos dados da Tabela 4, os valores de densidade do solo e RMSP justificam o maior afundamento e deformação dos pneus em superfície mobilizada, com a consequente queda na RM. A densidade do solo e a RMSP em superfície mobilizada foram menores que em superfície firme na camada de 0 – 0,1 m e de 0,1 m – 0,2 m, profundidade esta em que houve a ação do arado mobilizando o solo, corroborando com Mazurana et al. (2011).

Em superfície de solo firme, os maiores valores de densidade do solo e de RMSP, em relação à superfície mobilizada, ocorreram nas camadas de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m (Tabela 4), explicados pelas consecutivas passagens do trator que causaram adensamento destas camadas. Na camada de 0 - 0,1 m o valor de densidade do solo é considerado como limitante para o crescimento de raízes em solo firme (Tabela 4), uma vez que a densidade considerada ideal para solos argilosos é quando assume níveis que variam entre 1,0 e 1,2 g.cm⁻³ (Kiehl, 1979).

Logo, a densidade do solo e a RMSP foram propriedades físicas do solo fundamentais como parâmetros para caracterizar a condição superficial do solo e a interação solo-máquina no desempenho do trator.

A rotação do motor (RM) estabelecida nos ensaios foi de 1970 RPM, e de acordo com os valores da Tabela 5 houve diferença significativa para DPEE e superfície. Na DPEE 45/55% houve queda significativa da RM em comparação com as demais, explicada pelo maior peso no eixo dianteiro do trator. Para as diferentes superfícies houve queda progressiva na RM à medida que a resistência ao rolamento (RR) aumentou em função da mobilização do solo (Tabela 5).

Assim sendo, os valores de CHC foram significativamente diferentes para as DPEE e as superfícies (Tabela 5). Na Tabela 9, dentre as três DPEE, o menor CHC do trator ocorreu com a DPEE 45/55% nas três superfícies, em resposta à menor RM (Tabela 5), similar com resultados publicados por Vale et al. (2011) e Fiorese et al. (2015b). Para Márquez (2012) os motores Diesel apresentam maior eficiência em baixas rotações, em função da maior capacidade em admitir oxigênio (comburente), maior tempo para completar o ciclo da combustão e em função do menor atrito entre os componentes dinâmicos e estáticos do motor. Neste sentido, motores que operam em menores regimes de rotação tem grande tendência à menor consumo de combustível.

Para as diferentes superfícies na Tabela 9, é possível observar que no concreto o CHC foi o menor nas três DPEE. Os maiores valores de CHC ocorreram nas superfícies firme e mobilizada, para as três DPEE (Tabela 9), mostrando que estas condições de superfície do solo foram responsáveis pelo menor desempenho do trator, corroborando com Neres et al. (2012), para os autores as condições superficiais do solo agem no consumo de combustível nas diversas operações do conjunto trator/implemento.

A força na barra de tração (FBT) variou significativamente em função da DPEE, o trator desenvolveu maior FBT na condição de DPEE 45/55% (Tabela 5) e com a DPEE 40/60% a FBT foi semelhante em superfície de concreto e mobilizada (Tabela 10). Yanai et al. (1999) explicam que tratores dotados de TDA desenvolvem força na barra de tração através da transferência de carga do eixo dianteiro em benefício do eixo traseiro, o que explica o maior CT do trator na condição de DPEE 45/5% (Tabela 5). Conforme afirmado por Schlosser et al. (2004), as variáveis força de tração, transferência de peso e coeficiente de tração estão diretamente relacionadas, como verificado no presente trabalho.

A velocidade operacional (VO) foi estatisticamente diferente nas três DPEE e superfícies (Tabela 5). Na DPEE 35/65% o trator deslocou-se com maior VO, viabilizada pela

menor carga no eixo dianteiro e maior RM, porém a expensas de maiores consumo de combustível (Tabela 5). Na Tabela 11, em superfície firme e mobilizada a DPEE 35/65% garantiu ao trator a maior VO, em função da maior RM. Em superfície de concreto, o trator desenvolveu a maior VO entre as três superfícies (Tabela 11), explicada pela inexistência de interferências do solo e, portanto, menor RR. Fiorese et al. (2015a) encontraram velocidade operacional de $7,1 \text{ km.h}^{-1}$ com o trator de 89 kW tracionando carga de 30 kN em superfície de concreto.

Segundo Zoz e Grisso (2003), o principal ponto a ser observado nos tratores agrícolas é o desempenho na barra de tração. Monteiro et al. (2013) encontrou os melhores rendimentos na barra de tração do trator de 88 kW quando se aplicou cargas na barra de tração de 25 a 30 kN, nas relações entre o peso e a potência de 50 e 55 N kW⁻¹, mostrando ser a amplitude de carga mais adequada ao conjunto avaliado. Nos dados da Tabela 5 observa-se que apesar da FBT e da VO serem estatisticamente diferentes nas três DPEE, a PBT e o RBT não diferiram, corroborando com a conclusão de Schlosser (1996), para o autor as perdas de potência estão diretamente relacionadas com a patinagem das rodas traseiras, não dependendo da distribuição de peso entre eixos.

Em pista de concreto o trator desenvolveu maior PBT entre as três condições de superfície (Tabela 5), sendo esse resultado justificado pela maior VO, em solo firme a PBT foi 4,38% maior que na superfície mobilizada (Tabela 5), corroborando com Gabriel Filho et al. (2010) e Rinaldi (2011).

Em condições de operação no campo, deve-se procurar trabalhar com no máximo 75% da potência do motor, devido a uma razão lógica: o trabalho com a barra de tração é o mais pesado para o trator por ser constante, restando 25% de reserva para eventuais sobrecargas (Paz, 2000). Nos dados da Tabela 13, a DPEE 45/55% e a DPEE 40/60% proporcionaram maior RBT em superfície de concreto, já em superfície firme e em superfície mobilizada, a DPEE 35/65% proporcionou o maior RBT. Assim sendo, em condições de campo a DPEE 35/65% é a mais adequada, pois o trator apresentou maior habilidade para tracionar.

De acordo com a ASABE D497.4 (ASABE, 1999) na transmissão da potência do motor para a barra de tração ocorrem perdas que são influenciadas pelas condições de operação do trator, distribuição de peso entre eixos e tipo de acoplamento. A norma recomenda que para o bom desempenho de tratores 4x2 (TDA) o rendimento na barra de tração deve ser de 72,2 % em superfície de concreto, 63,9% em solo firme e 60,6% em superfície mobilizada. Conforme Masiero et al. (2011), baseado no fator “0,86” de Wendel

Bowers, o RBT para tratores 4x2 (TDA) é de 79,2% para superfície de concreto, 58,8% para solo firme e 50,3% para superfície mobilizada.

Os valores médios de RBT variaram em função da condição da superfície do solo, além de variar também em função da potência da barra de tração e da velocidade de deslocamento. À medida que a PBT diminuiu em função da VO o RBT também reduziu (Tabela 5). Em pista de concreto o trator apresentou os maiores resultados de RBT 66,53%, em superfície firme 60,17% de RBT e em superfície mobilizada 57,53% de RBT (Tabela 5). O RBT obtido em pista de concreto foi inferior aos valores sugeridos pela ASABE D497.4 (ASABE, 1999) e “fator 0,86” de Wendel Bowers. Em superfície de solo firme e superfície mobilizada os valores de RBT obtidos foram semelhantes com o proposto por Wendel Bowers e inferiores ao proposto pela ASABE D497.4 (ASABE, 1999) (Tabela 5), similar com resultados publicados por Masiero et al. (2011). Para Fiorese et al. (2015b) a interação solo-máquina não permitiu que o RBT fossem semelhantes aos valores sugeridos pela ASABE D497.4 (ASABE, 1999) para solo firme e solo mobilizado. Mialhe (1991) justifica que é na interface rodado-solo onde as perdas de potência se tornam mais críticas.

Nos dados de interação na Tabela 13, em superfície de concreto o maior RBT ocorreu na DPEE 45/55% em que o trator obteve 68,33 % de RBT, em superfície firme e superfície mobilizada a DPEE 35/65% proporcionou o maior RBT, 60,57% e 59,09 %, respectivamente.

O consumo de combustível específico (CCE) foi significativamente diferente entre as DPEE e as superfícies. Na Tabela 5, os valores mostram que os maiores CCE coincidiram com as menores FBT nas DPEE 35/65% e 40/60%, em razão do consumo específico ser obtido pelo quociente entre o consumo (g.h^{-1}) pela potência obtida na barra de tração. Com a DPEE 45/55% o trator obteve o menor CCE, em virtude da menor RM que reduziu o CHC nesta condição de DPEE.

Analizando o CCE para as diferentes superfícies (Tabela 5), na superfície de concreto em que há melhores condições de tração em decorrência da maior aderência do pneu a superfície, o trator desenvolveu maior velocidade operacional (VO), e, consequentemente, maior PBT, que resultou em menor CCE. Em superfície mobilizada o trator apresentou o maior CCE, por efeito da menor PBT e maior CHC verificados nesta condição de superfície, correspondendo aos resultados encontrados por Masiero et al. (2011). Portanto, a condição da superfície do solo influencia no CCE causando o aumento significativo deste parâmetro em função da mobilização do solo.

Em decorrência do menor CCE, com a DPEE 45/55% o trator obteve a melhor ETM nas três superfícies (Tabela 14). Nesta condição o motor expressou a máxima eficiência em transformar energia térmica em trabalho. Segundo Lopes et al. (2003), quanto maior o valor do CCE menor é a eficiência da conversão energética do combustível.

Nos tratores com TDA o peso sobre o eixo dianteiro ajuda na tração, Linares (2006) denomina a transferência de peso como sendo a diminuição do peso de um eixo em benefício do outro. Esta dinâmica foi verificada na transferência de carga do eixo dianteiro para o eixo traseiro nas três DPEE (Tabela 5), todavia na DPEE 35/65% a CD foi 7,67 % superior à DPEE 40/60% e 15,04% maior que na DPEE 45/55%. Na Tabela 15, como esperado para as três superfícies, com a DPEE 35/65% ocorreu maior CD, tendo em vista a maior carga estática no eixo traseiro que, quando somada à transferência de carga, resultou em maior carga dinâmica e á medida que o peso no eixo traseiro foi reduzido nas DPEE 40/60% e 45/55%, a carga dinâmica também.

Uma vez que a maior CD ocorreu na DPEE 35/65%, o menor CT ocorreu nesta DPEE, para as três superfícies (Tabela 16). A maior FBT e a menor CD proporcionada na DPEE 45/55% resultou em coeficiente de tração (CT) superior às demais DPEE (Tabela 5). Considerando que o trator teste possui TDA, nesta condição o trator divide o esforço tratório em seus dois eixos motrizes, logo há maior necessidade de peso no eixo dianteiro, pois este exerce tração em condições de TDA acionada. Isto explica a maior eficiência do sistema rodado-solo em transformar o peso do eixo dianteiro em FBT na DPEE 45/55%. Russini (2012) ao realizar ensaios de tração em campo verificou que a insuficiência de peso nos eixos do trator diminui significativamente o coeficiente de tração.

Os valores de resistência ao rolamento (RR) revelam que a mobilização do solo aumenta significativamente este parâmetro e compromete o desempenho operacional do trator, resultando em menor rendimento tratório (RT) (Tabela 5). Na Tabela 5 é possível verificar que as diferentes DPEE não influenciaram significativamente a RR, contudo as três superfícies sim, de forma que a maior RR foi verificada na superfície mobilizada.

O trator com DPEE 35/65% obteve o maior aproveitamento da tração bruta para tracionar, nas três superfícies, em função do maior RT obtido (Tabela 17). Também houve diferença significativa para RT entre as superfícies, sendo que na mobilizada o trator obteve menor RT para as três DPEE (Tabela 17).

Confrontando os resultados obtidos na Tabela 5 e nas Tabelas 6 a 17, com a DPEE 45/55% o trator apresentou os menores CHC e CCE dentre as três DPEE avaliadas para as

três superfícies. Contudo não foi o melhor desempenho energético, pois o motor do trator operou com menor regime de rotação do motor.

Com a DPEE 35/65% o motor do trator trabalhou em regime de maior rotação e desenvolveu VO superior às outras duas DPEE para as três superfícies, explicando o maior CHC e CCE. Todavia, esta menor eficiência energética não comprometeu o RT, sendo esta a DPEE que permitiu ao trator operar com os menores índices de patinagem e com maior aproveitamento da tração bruta para tracionar a carga de 30 kN em condições de campo, comprovadas pelo maior RT e maior RBT em superfície firme e mobilizada. Com a DPEE 40/60% o trator trabalho no mesmo regime de rotação do motor que na DPEE 35/65% e obteve os mesmos índices de RT, com maior CT em relação à DPEE 35/65%.

Neste sentido, para obter o máximo desempenho do trator os parâmetros avaliados sugerem uma flexibilidade na DPEE do trator, podendo-se trabalhar no eixo dianteiro com peso correspondente a faixa de 35 a 40% do peso total do trator e 60 a 65% no eixo traseiro.

4. CONCLUSÃO

A interação solo-máquina para a superfície mobilizada e superfície firme, para todas as DPEE, permitiu que o trator atingisse o máximo desempenho.

As condições ideais de distribuição de peso entre eixos que, quando relacionadas com diferentes superfícies de deslocamento, maximizaram o desempenho do trator foram as DPEE 35/65% e 40/60%.

O melhor desempenho do trator com as DPEE 35/65% e 40/60% propõe uma flexibilidade na DPEE do trator, com peso no eixo dianteiro entre 35-40% do peso total do trator e entre 60-65% no eixo traseiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar os ensaios para avaliar o desempenho do trator com sistema de frenagem acoplado no sistema hidráulico de engate de três pontos.

6. REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 6457/86. Rio de Janeiro, 9 p., ago. 1986.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – determinação do limite de plasticidade, NBR 7180/84. Rio de Janeiro, 3 p., out. 1984.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – determinação do limite de liquidez, NBR 6459/84. Rio de Janeiro, 6 p., out. 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Petróleo e derivados de petróleo – Determinação da massa específica, densidade relativa e °API – Método do densímetro, NBR 7148/13. Rio de Janeiro, 5p., nov. 2013.

ASABE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Agricultural Machinery Management Data. D 497.4. In: ASABE Standards: Standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p.359-366, 1999.

ASABE- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE EP 496.2 FEB03. Standards: standards engineering practices data, St. Joseph: p. 366-372, 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.

BRIXIUS W. W. Traction prediction equation for bias ply tires. St. Joseph: ASAE Paper, p.83-1067, 1987.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A., Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p. 713-722, 2011.

FARIAS, M.S.; SCHLOSSER, J.F.; MARTINI, A.T.; SANTOS, G.O.; ESTRADA, J.S., Air and fuel supercharge in the performance of a diesel cycle engine. *Ciência Rural*, v.47, n.6, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, 2011.

FIGLIOSI D.A.; SANDI J.; MARASCA I.; FERREIRA M.F.; SPADIM E.R.; LANÇAS K.P., Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19:903-909, 2015a.

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

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LEITE, F.; ACOSTA, J.J.B.; JESUÍNO, 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, n.3,p.333-339, 2010.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M., Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W., Particle-size analysis. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, p. 383–411, 1986.

GU, Y.; KUSHWARA, R.L., Dynamic load distribution and tractive performance of a model tractor. *Journal of Terramechanics*, v. 31, n.1, p.21-39, 1994.

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.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, 2017. Disponível em: <<http://www.iapar.br/pagina-863.html>>. Acesso em: 04/dezembro/2017.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Gráficos de histórico climático para o estado do Paraná. Brasília, 2017. Disponível em:<http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php>. Acesso em: 04/dezembro/2017.

JASPER, S.P.; BUENO, L.S.; LASKOSKI, M.; LANGHINOTTI, C.W.; PARIZE, G.L., Desempenho do trator de 157 kW na condição manual e automático de gerenciamento de marchas. Revista Scientia Agrária, v.17, n.13, p.55-60, 2016.

KIEHL, E.J., Manual de Edafologia. Brasil: Editora Agronômica Ceres, Piracicaba – SP, 262p., 1979.

KLEIN, V.A., Física do Solo. Brasil: Universidade de Passo Fundo, 263p., 2014. ISBN: 978-857515-832-6.

LANÇAS, K.P., Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas. Tese Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 171p, 1996.

LEITE, D.M., Desempenho de um conjunto trator-grade em função da velocidade do trator, pressão interna e tipo de construção dos pneus. Tese Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 97p, 2015.

LINARES, P., Teoría de la tracción de tractores agrícolas. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos da Universidad Politécnica de Madrid, 157 p., 2006.

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

MÁRQUEZ, L., Tractores Agrícolas: Tecnologías y utilización. Madrid: B&h Editores, 844 p., 2012.

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

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O., Sistemas de prepare de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1197 – 1206, 2011.

MIALHE, L.G., Gerência de sistema tratorizado vs operação otimizada de tratores. Piracicaba: ESALQ/USP, 30p, 1991.

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

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

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; FILHO, A.G., Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. Energia na Agricultura, v.24,p.68-84, 2009.

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; GUERRA, S.P.S., Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos. Engenharia Agrícola, v.31, n.3, p.551-560, 2011.

NERES, J.S.; SANTOS, R.S.; MOREIRA, D.A.; SILVA, R.M., Desempenho operacional de um trator agrícola e suas implicações de uso em alguns atributos físicos de um latossolo amarelo em Altamíra-PA, Engenharia Ambiental, v.9, n.3, p.62-77, 2012.

OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. Code 2: OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. 2012. 90p.

PAZ, M. A., Tratores. Madrid: CIE,SL DOSSAT, 646 p., 2000.

REIS, G. N.; BIZZI, A. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; GROTTA, D. C. C. G., Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max*(L.)Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.

RINALDI, P.C.N., Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil. Tese Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 108p., 2011.

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

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

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, n.6, 2004.

SCHLOSSER, J.F., DEBIASI, H., WILLES, J.A., MACHADO, O.D.C., Análise comparative do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. *Ciência Rural*, v.35, n.1, 2005.

SHEKHOVTSOV, V.V.; SOKOLOV-DOBREV, N.S.; POTAPOV, P.V., Decreasing of the Dynamic Loading of Tractor Transmission by means of Change of the Reactive Element Torsional Stiffness. *Sciense Direct*, 150:1239-1244, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.129

SICHOCKI, D.; RUAS, R.A.A.; DEZORDI, L.R.; CAIXETA, L.F.; SILVA, B.M., Consumo energético e patinagem de um trator agrícola tracionando uma enxada rotativa e um arado de discos. Engenharia na Agricultura, v. 21, n.5, 2013.

SILVA, S.L.; BENEZ, S.H., Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. Revista Energia na Agricultura, v.12, n.3, p.10-18, 1997.

SPAGNOLO, R.T.; PALMA, M.A.Z.; VOLPATO, C.E.S.; BARBOSA, J.A.; NUNES, R.A., Desempenho operacional de um trator agrícola em função da lastragem, pressão de inflação e desgaste do pneu. Revista Engenharia na Agricultura, v.21, n.4, p. 379-386, 2013.

SUGAMOSTO, M.L., Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola e avaliação da adequação de uso do centro de estações experimentais do Canguiri, município de Pinhais - Para-á. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 149p., 2002.

TORMAN, V.B.L., COSTER, R., RIBOLDI, J., Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. Revista HCPA, v. 32, p. 227-234, 2012.

VALE, W.G.; GARCIA, R.F.; CORRÊA JUNIOR, D.; GRAVINA, G.A.; SOUZA, E.F., Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. Global Science and Technology, v. 4, n.2, p.68-75, 2011.

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

ZOZ, F. M.; GRISSO, R. D., Traction and Tractor Performance. Louisville: ASABE, 46 p., 2003.