



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

WALISSON MARQUES SILVEIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TRATOR AGRÍCOLA 4x2 TDA EM PISTA DE
CONCRETO EM FUNÇÃO DO DESGASTE DOS PNEUS E DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO**

FORTALEZA

2018

WALISSON MARQUES SILVEIRA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TRATOR AGRÍCOLA 4x2 TDA EM PISTA DE
CONCRETO EM FUNÇÃO DO DESGASTE DOS PNEUS E DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para o título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientador: Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S591e Silveira, Walisson Marques.
Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 TDA em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de deslocamento / Walisson Marques Silveira. – 2018.
73 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientação: Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro.

1. Consumo de combustível. 2. Força de tração. 3. Ensaio de máquinas. I. Título.

CDD 664

WALISSON MARQUES SILVEIRA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TRATOR AGRÍCOLA 4x2 TDA EM PISTA DE
CONCRETO EM FUNÇÃO DO DESGASTE DOS PNEUS E DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para o título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 27/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Max César de Araújo
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus, por vencer mais uma batalha.

A meus pais, pela educação e confiança.

A todos que estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre ter me dado forças para nunca desistir, mesmo quando estava tudo dando errado, me mostrava novas oportunidades para superar as adversidades.

Aos meus pais, Silveira e Vania, por me darem a educação necessária para a vida, pelo apoio contínuo, por acreditarem no meu potencial e por sempre entenderem meus momentos de ausência devido as atividades acadêmicas.

Aos meus familiares, pelo apoio, orgulho e admiração em mim depositados, mesmo desconhecendo minhas atividades na Universidade.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, por me oferecer, apesar das limitações, o melhor curso de graduação que eu poderia escolher na minha vida, me orgulhar de ser Engenheiro Agrônomo e dar continuidade em minha carreira acadêmica.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, mais precisamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA e todos que o integram, por sua excelência e por todo suporte dado ao longo de meu mestrado, servindo para meu engrandecimento pessoal e intelectual.

Ao meu orientador, professor Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela orientação, confiança, profissionalismo, ensinamentos, troca de experiências e disponibilidade durante meu mestrado sob sua orientação.

Ao meu Coorientador, professor Dr. Danilo Roberto Loureiro, pela amizade, disponibilidade, apoio e parceria que vem desde a graduação.

Ao professor Carlos Alberto Viliotti, pelo aceite em participar da banca examinadora de minha defesa de dissertação, que apesar do pouco contato, tenho admiração e espero ter mais troca de experiências futuramente.

Ao professor Dr. Max César de Araújo, pela disponibilidade de aceitar colaborar como membro avaliador de minha banca.

Aos demais professores da área de mecanização agrícola, Carlos Alessandro Chioderoli e Daniel Albiero, pela grande contribuição dada durante meu período no mestrado.

Ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas, LIMA – UFC, por todo o suporte dado para a realização de meu experimento.

A todos os meus amigos, que são vários e não citarei neste trabalho, mas sabem que, mesmo estando perto ou distantes, sempre me apoiaram e torceram pelo meu sucesso.

Ao meu grande companheiro Duke, que com seu jeito especial de ser, sempre esteve por perto me apoiando e me dando forças com sua parceria, companheirismo e fidelidade.

À Suyanne Araújo, por todos os conselhos, conversas, experiências, puxões de orelha, pela torcida e por me ajudar a aprender a ser essa pessoa que sou hoje.

Aos operadores De Leon Santiago, Sandoval Bezerra e Joel (Bola), pela total disponibilidade em me ajudar em todas as vezes que precisei de auxílio em minhas atividades na área experimental e no galpão de máquinas.

Ao D.I.V.A. e todos os seus integrantes, pela amizade, conversas e por me proporcionar descontração nos momentos de ócio.

A todos os integrantes da Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESA, principalmente os que compõem o LIMA e NIMPA (apelidado carinhosamente de LIMPA), pelo valioso apoio durante a realização de meu experimento, pela torcida e pela amizade durante esse tempo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos para eu seguir minhas atividades durante o mestrado.

A todos que não foram mencionados, mas que direta ou indiretamente me deram apoio e ajudaram a ultrapassar as adversidades encontradas nesse período.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001"

Meu muito obrigado!

“O pessimista olha para baixo e bate a cabeça. O otimista olha para cima, e tropeça. O realista olha para frente, e reajusta seu caminho.”

(King Ezekiel)

RESUMO

A expansão agrícola é crescente e o trator agrícola é a principal fonte de potência utilizada na condução das lavouras. Os pneus agrícolas estão entre os principais componentes das máquinas agrícolas, tendo grande importância nos custos operacionais. Buscando saber a eficácia dos pneus agrícolas na operação mecanizada, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência energética de um trator 4x2 TDA em função da velocidade de deslocamento, utilizando pneus novos e desgastados em pista de concreto. O trabalho foi conduzido na área experimental do Laboratório de investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, pertencente à UFC, em pista de concreto, utilizando um trator 4x2 TDA Valtra BM120, com potência de 88,26 kW (120 cv), sem nenhum tipo de lastro líquido ou sólido, em sistema de comboio para os ensaios, a pista e o trator seguiam as normas OECD-Code 2. Utilizou-se dois conjuntos de pneus, novos e desgastados. Avaliou-se o consumo horário (CH) e específico (CE) de combustível, potência (PB) e rendimento na barra de tração (RB), coeficiente de tração (CT) e patinamento. Os dados foram adquiridos com o auxílio de sensores instalados por todo o trator e armazenados em um *datalogger*. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), num esquema fatorial 5x2, com cinco velocidades de deslocamento (1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹) e dois tipos de conjuntos de pneus (novos e desgastados), com cinco repetições, em seguida realizada a análise de variância e teste de médias. Houve interação significativa para os consumos horário e específico, sendo que o desgaste do pneu não interferiu no CH e no CE, para as diferentes velocidades de deslocamento, CH não diferiu estatisticamente. A velocidade de 2,36 m.s⁻¹ obteve o menor CE. A PB, o RB e o CT aumentaram de acordo com o aumento da velocidade de deslocamento, sendo a velocidade de 2,78 m.s⁻¹ e o pneu novo, o que obtiveram os maiores valores. O patinamento aumentou com o aumento das velocidades, sendo as que ficaram dentro dos limites aceitáveis foram as de 2,36 e 2,78 m.s⁻¹. Os pneus desgastados tiveram patinamento abaixo do recomendado, estando dentro da faixa aceitável somente o jogo de pneus novos. Conclui-se que os jogos de pneus novos é mais recomendado a se utilizar, adotando as maiores velocidades de deslocamento, preferencialmente as de 2,36 e 2,78 m.s⁻¹.

Palavras-chave: Consumo de combustível. Força de tração. Ensaio de máquinas.

ABSTRACT

The agricultural expansion is increasing and the agricultural tractor is the main source of power used in the conduction of the crops. Agricultural tires are among the main components of agricultural machinery, having great importance in operating costs. Seeking to know the effectiveness of agricultural tires in the mechanized operation, this study was carried out with the objective of evaluating the energy efficiency of a 4x2 FWD tractor in the function of the displacement speed, using new and worn tires on a concrete runway. The work was conducted in the experimental area of the Agricultural Accident Investigation Laboratory – LIMA, belonging to the Federal University of Ceará, on a concrete floor, using a tractor 4x2 FWD Valtra BM120 with power 88.26 kW (120 cv), without any type of liquid or solid ballast, in train system for the tests, the track and the tractor followed the OECD-Code 2 standards. We used two sets of tires, new and worn. Evaluated the hourly consumption (CH) and specific (EC) of fuel, power (PB) and income on the drawbar (RB), traction coefficient (TC) and slipping. The data were acquired with the aid of sensors installed throughout the tractor and stored in a datalogger. The design was a completely randomized design (DIC), in a 5x2 factorial scheme, with five displacement speeds (1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹) and two types of tire sets (new and worn) with five replicates, followed by analysis of variance and test of means. There was significant interaction for hourly and specific consumption, being that the wear of the tire did not interfere in the CH and the EC, for the different displacement speeds, CH did not differ statistically. The speed of 2.36 m.s⁻¹ obtained the lowest CE. PB, RB and TC increased with increasing forward speed, being the speed of 2.87 m.s⁻¹ and the new tire, which obtained the highest values. The slipping increased with increasing speeds being those which were within acceptable limits were 2.36 and 2.78 m.s⁻¹. Worn tires have slipping below the recommended one, being within range. Only the set of new tires. It is concluded that the new tire sets are more recommended to be used, adopting the higher displacement speeds, preferentially those of 2.36 and 2.78 m.s⁻¹.

Keywords: Fuel consumption. Tractive force. Testing machines

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto..... | 23 |
| Figura 2 | – Diagrama de estimativa de perda de potência nos diferentes setores do trator e em diversos tipos de tratores e condições de superfície..... | 25 |
| Figura 3 | – Partes constituintes de um pneu agrícola..... | 28 |
| Figura 4 | – Identificação das marcações na lateral do pneu agrícola..... | 29 |
| Figura 5 | – Componentes dimensionais do pneu agrícola..... | 29 |
| Figura 6 | – Ilustração de pneu diagonal..... | 30 |
| Figura 7 | – Ilustração de pneu radial..... | 30 |
| Figura 8 | – Ilustração de pneu de baixa pressão e alta flutuação (BPAF)..... | 31 |
| Figura 9 | – Vista da pista de concreto..... | 41 |
| Figura 10 | – Tratores utilizados no experimento..... | 41 |
| Figura 11 | – Pesagem do trator em laboratório..... | 42 |
| Figura 12 | – Representação do suporte para medição de altura de garras..... | 44 |
| Figura 13 | – Determinação da altura da garra dos pneus com um medidor..... | 44 |
| Figura 14 | – Datallogger para armazenamento de dados obtidos pelos sensores..... | 46 |
| Figura 15 | – Datallogger para armazenamento de dados obtidos pelos sensores..... | 46 |
| Figura 16 | – Medidores de fluxo de combustível no trator..... | 48 |
| Figura 17 | – Leitor dos dados colhidos pelos fluxômetros..... | 48 |
| Figura 18 | – Célula de carga instalada no sistema de comboio..... | 50 |
| Figura 19 | – Sensores para a medição do patinamento..... | 52 |

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Valores médios do patinamento, em %, para as cinco velocidades em pista de concreto..... 64
- Gráfico 2 – Valores médios do patinamento, em %, para os dois tipos de pneu do trator em pista de concreto..... 65

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | – Rendimento na barra de tração para tratores de rodas pneumáticas e diversas condições de solo baseado no fator “0,86” de Wendel Bowers..... | 25 |
| Tabela 2 | – Peso, distribuição e relação peso/potência do trator..... | 42 |
| Tabela 3 | – Características dos pneus utilizados no experimento..... | 43 |
| Tabela 4 | – Combinações de marchas e rotação para obtenção das velocidades.... | 47 |
| Tabela 5 | – Resumo da análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de assimetria e curtose para a combinação de cinco velocidades de deslocamento do trator e dois níveis de desgaste dos pneus em pista de concreto..... | 55 |
| Tabela 6 | – Valores médios da interação entre a velocidade de deslocamento e o desgaste dos pneus do trator em pista de concreto, sobre o consumo horário de combustível..... | 56 |
| Tabela 7 | – Valores médios da interação entre a velocidade de deslocamento e o desgaste dos pneus do trator em pista de concreto, sobre o consumo específico de combustível..... | 58 |
| Tabela 8 | – Valores médios da potência exigida na barra de tração..... | 60 |
| Tabela 9 | – Valores médios do rendimento na barra de tração..... | 61 |
| Tabela 10 | – Valores médios do coeficiente de tração..... | 63 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | | |
|------------|---|----|
| Equação 1 | – Eficiência trativa..... | 23 |
| Equação 2 | – Eficiência trativa (2)..... | 23 |
| Equação 3 | – Potência na TDP..... | 24 |
| Equação 4 | – Potência Máxima na barra de tração, em concreto..... | 24 |
| Equação 5 | – Potência máxima na barra de tração, em solo firme..... | 24 |
| Equação 6 | – Potência utilizável na barra de tração, em solo firme..... | 24 |
| Equação 7 | – Potência utilizável na barra de tração, em solo arado..... | 24 |
| Equação 8 | – Potência utilizável na barra de tração, em solo solto..... | 24 |
| Equação 9 | – Cálculo da potência na barra de tração..... | 24 |
| Equação 10 | – Cálculo do avanço do trator..... | 45 |
| Equação 11 | – Cálculo do consumo horário de combustível..... | 49 |
| Equação 12 | – Cálculo do consumo específico de combustível..... | 49 |
| Equação 13 | – Cálculo da força de tração média..... | 50 |
| Equação 14 | – Cálculo da potência média requerida na barra de tração..... | 50 |
| Equação 15 | – Cálculo do rendimento na barra de tração..... | 51 |
| Equação 16 | – Cálculo do coeficiente de tração..... | 51 |
| Equação 17 | – Cálculo da velocidade média de deslocamento..... | 51 |
| Equação 18 | – Cálculo do patinamento dos rodados..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ASABE | American Society of Agricultural and Biological Engineers |
| CE | Consumo específico de combustível |
| CH | Consumo horário de combustível |
| CT | Coeficiente de tração |
| NUTEC | Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and Development |
| Pat | Patinamento dos rodados |
| PB | Potência na barra de tração |
| RB | Rendimento na barra de tração |
| TDA | Tração dianteira auxiliar |
| TDP | Tomada de potência |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 20 |
| 2.1 | Tração e interação rodado-superfície | 20 |
| 2.2 | Pneus agrícolas | 26 |
| 2.3 | Patinação dos rodados | 33 |
| 2.4 | Consumo de combustível | 34 |
| 2.5 | Desempenho do trator | 36 |
| 2.6 | Ensaio de tratores | 37 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 40 |
| 3.1 | Local | 40 |
| 3.1.1 | <i>Pista de concreto</i> | 40 |
| 3.2 | Trator | 41 |
| 3.3 | Pneus | 43 |
| 3.4 | Aquisição de dados | 45 |
| 3.5 | Velocidades de deslocamento | 47 |
| 3.6 | Testes realizados | 47 |
| 3.6.1 | <i>Consumo de combustível</i> | 47 |
| 3.6.2 | <i>Força na barra de tração</i> | 49 |
| 3.6.3 | <i>Velocidade de deslocamento</i> | 51 |
| 3.6.4 | <i>Patinação dos rodados do trator</i> | 51 |
| 3.7 | Ensaio OECD – Code 2 | 52 |
| 3.8 | Descrição dos tratamentos | 53 |
| 3.9 | Delineamento experimental | 53 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 55 |
| 4.1 | Consumo Horário de combustível | 56 |
| 4.2 | Consumo Específico de combustível | 58 |
| 4.3 | Potência na barra de tração | 59 |
| 4.4 | Rendimento na barra de tração | 61 |
| 4.5 | Coeficiente de tração | 62 |
| 4.6 | Patinação dos rodados do trator | 63 |
| 5 | CONCLUSÃO | 66 |

| | |
|---|-----------|
| REFERÊNCIAS | 67 |
| APÊNDICE A – VALORES DE FORÇA NA BARRA DE TRAÇÃO DO TRATOR EM DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E COM PNEU NOVO E DESGASTADO EM PISTA DE CONCRETO | 73 |

1 INTRODUÇÃO

As áreas agricultáveis estão em constante crescimento, necessitando cada vez mais da utilização de máquinas agrícolas, e o trator agrícola vem sendo, ao longo dos anos, a fonte de potência mais utilizada na condução da maioria das lavouras. Com o passar do tempo, sua estrutura vem sofrendo diversas mudanças e inúmeros avanços tecnológicos são disponibilizados ao homem do campo que a busca.

Uma das funcionalidades dos tratores agrícolas são a conversão da energia química presente nos combustíveis para sua transformação na forma de energia mecânica, por meio da força disponível na barra de tração, usada para tracionar máquinas e equipamentos agrícolas. Além disso, o trator pode ser utilizado também para fornecer energia através da tomada de potência (TDP) ou por meio do sistema hidráulico.

A utilização dos tratores agrícolas na agricultura possibilitou aos produtores expandirem suas áreas de cultivo, considerando-se a vasta multifuncionalidade e versatilidade dessas máquinas agrícolas na realização das inúmeras operações, que vão desde o preparo do solo, plantio, tratos culturais, até a colheita, sendo as máquinas agrícolas indispensáveis à condução da lavoura em todas suas etapas.

Devido a esses múltiplos usos do trator agrícola na propriedade, se faz necessária a escolha do melhor conjunto mecanizado que irá ser utilizado de forma que se otimize o seu desempenho. Levando em conta que o tráfego de máquinas pesadas é um fator limitante para a maioria das operações agrícolas, devido à grande possibilidade em provocar compactação do solo, como também aumento no consumo de combustível.

Visando evitar tais danos à área de cultivo, de modo a realizar as operações em campo com o trator agrícola de maneira eficiente e segura, se fazem necessárias regulagens e adequações na máquina, como a distribuição de carga nos eixos do trator, o tipo de cobertura no solo a ser preparado, a escolha do equipamento para realizar determinada operação, a escolha correta do conjunto de pneus e a velocidade de trabalho adequada para o conjunto motomecanizado.

Os rodados pneumáticos ou pneus de um trator agrícola têm inúmeras funções importantes tais como possibilitar o equilíbrio, deslocamento, direcionamento, desempenho operacional e amortecimento das irregularidades do solo. Esses rodados influenciam no desempenho operacional do trator em função do seu tipo de

construção, pressão de inflação, da carga aplicada, do tipo de tração e do seu desgaste. Da mesma forma, interferem o tipo de solo ou superfície de rolamento, seu teor de água, a cobertura e a declividade do solo em que são submetidos os tratores influenciam tanto na quantidade, como na qualidade dos serviços executados no campo.

Os pneus agrícolas estão entre os principais elementos do trator e da maioria das máquinas agrícolas, tendo eles relevante importância nos custos operacionais de campo e, principalmente, nos custos finais de sua fabricação, podendo chegar até a um terço do seu valor final devido ao seu alto custo, fazendo-se assim, buscar soluções que visem aumentar seu tempo de utilização sem perder a eficácia na operação agrícola mecanizada.

Visando obter informações a respeito da performance de tratores agrícolas em diversas situações, se faz necessário a realização de ensaio de campo em condições de operações agrícolas, sendo uma das maneiras de se obter informações, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento da tração e consumo de combustível, bem como resultados sobre o desempenho dos rodados, relacionados com as características da interação que ocorrem entre eles e o solo.

Para padronizar os ensaios realizados, assim como os resultados obtidos, torna-se útil o uso de normas, permitindo assim certificar que eles realmente possuem o desempenho anunciado, padronizando e permitindo a comparação os diversos testes. Nesse sentido, se faz necessário o uso de normas, dentre elas, a norma OECD-Code 2, permite aplicar um protocolo padronizado de avaliação de tratores e tudo o que os relaciona. Em vista disso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência energética de um trator 4x2 TDA em função da velocidade de deslocamento, utilizando pneus novos e desgastados em pista de concreto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O trator é uma máquina autopropelida dotada de recursos que o permitem tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas em que a energia gerada pela combustão do diesel é transformada em energia mecânica no motor (MIALHE, 1980).

Schlosser e Debiasi (2001) definem o trator agrícola como uma unidade móvel de potência, constituída de motor, transmissão, sistemas de direção e sustentação e de componentes complementares, em que podem ser acoplados implementos e máquinas. Para Gabriel Filho *et al.* (2010), uma das funções essenciais dos tratores agrícolas é converter a energia contida no combustível e fornecê-la, por meio da barra de tração, para tracionar máquinas e implementos agrícolas.

De acordo com Monteiro e Albiero (2013), a fonte de potência mais utilizada no meio rural é o trator agrícola, colaborando para o avanço tecnológico e o progresso dos sistemas agrícolas de produção de alimentos e de fontes alternativas de energias renováveis e responsáveis pelos avanços e quebras de recordes de produção das propriedades agrícolas em todo o país.

Santos *et al.* (2004), consideraram que o trator agrícola tem sido a base da mecanização agrícola moderna e responsável pelo alto desenvolvimento alcançado pela agricultura mundial nos últimos anos.

As máquinas agrícolas passam por incessantes modificações com novas tecnologias para atender as exigências do produtor rural, cada vez mais rigoroso quando se refere a soluções inovadoras de acordo com as necessidades de suas atividades, principalmente em relação ao custo das operações mecanizadas. Com o intuito de atender à procura do mercado consumidor, as máquinas agrícolas devem passar por avaliações que possibilitem analisar suas reais características e aptidões, além de permitir a retificação de eventuais erros de projeto ou de construção (AREND; FORCELLINI; WEISS, 2005).

2.1 Tração e interação rodado-superfície

A capacidade tratória e fornecimento de potência satisfatória para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura dependem, em parte, do tipo de dispositivo de tração. Nos casos em que esses dispositivos são

pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso e outros fatores interferem na capacidade de tração do trator (ZOZ; GRISSE, 2003).

A tração nos tratores depende principalmente do sistema rodado-solo, ou seja, das características do rodado e do solo. É função do torque, da resistência do solo ao cisalhamento e da resistência ao rolamento (MIALHE, 1980).

As interações entre rodado e o solo apresentam um contínuo desafio para os pesquisadores e fabricantes de pneus agrícolas, devido a sua determinação em campo ser difícil. A modelagem das interações de solo-máquina é um processo complicado, devido à variabilidade espacial dos meios de interação do solo, e o comportamento não-linear do solo, dos fenômenos de contato e de fluxo que ocorrem na zona de interface entre a ferramenta e o solo, e os seus efeitos dinâmicos (SHMULEVICH, 2010).

A tração pode ser definida como a força, na mesma direção e sentido do deslocamento, produzida por um trator na barra de tração (ASABE S296. 4, 1999). Segundo a ASABE D497. 4 (1999), o desempenho na barra de tração de um trator depende, em primeiro lugar, da potência do motor, da distribuição de peso sobre seus rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo. A eficiência no uso da força é limitada pela ação dos mecanismos de tração, que geralmente nos tratores agrícolas, são as rodas pneumáticas (SRIVASTAVA *et al.*, 1996).

Para Yong (1984), a tração pode ser definida como sendo a habilidade dos elementos trativos em gerar forças capazes de superar todo e qualquer tipo de resistências ao movimento e, assim, colocar o veículo em constante deslocamento. Os valores obtidos pelo mecanismo de tração vão depender do tipo de elemento trativo (rodas ou esteiras) e do tipo de solo que o sustenta. Gill e Vanden Berg (1968) definiram tração como sendo a força derivada da interação entre um sistema e um meio, podendo ser utilizada para tornar mais fácil o movimento desejado nesse meio.

Apesar de ser o método mais utilizado na realização de operações agrícolas que envolvem a condução de culturas, a tração gerada pelos rodados é um meio de transformação energética de baixa eficiência. As principais causas da perda de força ou potência no rodado são: o sistema de direção presente no trator, a resistência dos rodados ao rolamento, as perdas por atrito com o solo, as deflexões do rodado e do solo em contato com o mesmo (LANÇAS, 1997).

Masiero (2010) atestou que a análise operacional busca desenvolver técnicas que proporcionem obter o máximo de rendimento útil de todos os recursos disponíveis, por isso é necessário conhecer a força e a potência disponível na barra de tração.

Wismer e Luth, (1974) mostram que o movimento de uma roda pode ser classificado como a variação de três situações: movida, autopropelida ou motriz. Na primeira, não há torque no eixo da roda, apenas a ação de uma força externa. Na segunda condição, o torque é suficiente apenas para movimentar a roda sem que haja a tração. Quando a roda desenvolve tração, ela passa a ser considerada motriz. De acordo com eles, a passagem de uma situação para outra ocorre em função do aumento do patinamento, que será positivo quando houver torque na roda e ela desenvolver tração. A capacidade de tração na roda motriz aumenta conforme aumenta o patinamento até um valor máximo.

Segundo Nagaoka *et al.* (2002), a capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para realizar a maioria das operações necessárias na agricultura dependem, em parte, do tipo de dispositivo de tração. Nos casos em que esses dispositivos são pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator, como relatado por Zoz e Grisso (2003).

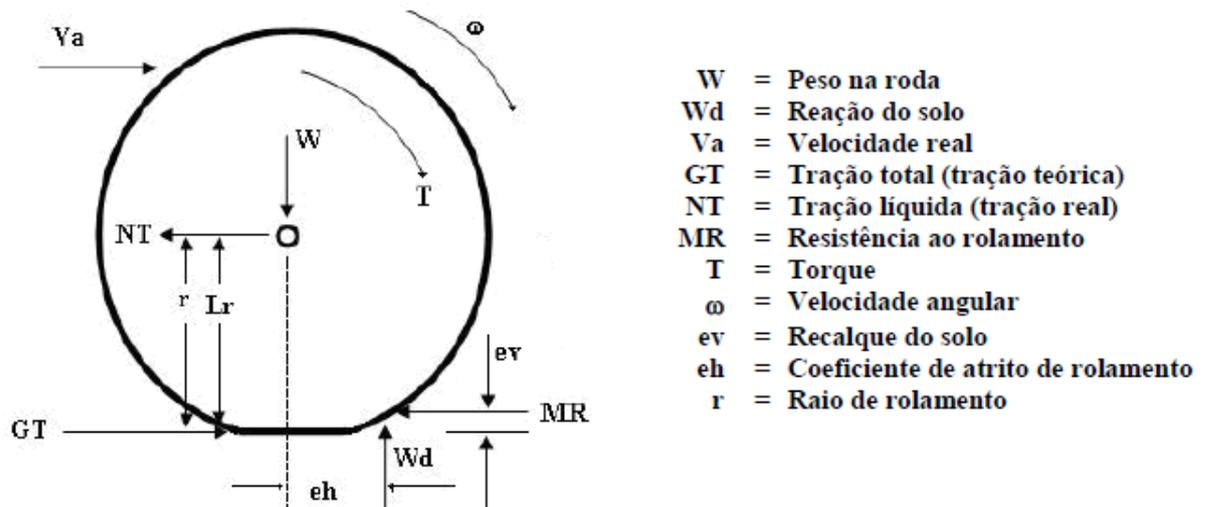
Estes mesmos autores descreveram que os conhecimentos da interação de uma roda no solo pode ser realizado considerando: roda sólida sobre uma superfície sólida, roda deformável sobre uma superfície sólida e roda deformável sobre superfície não sólida, sendo esta última a condição real de trabalho que é encontrada no campo (ZOZ; GRISSE, 2003).

Entre os fatores que influenciam na tração, a superfície do solo é um fator determinante. Contudo, nos modelos propostos para definir a eficiência de um trator em desenvolver tração em condições de campo, não se contempla o tipo de cobertura presente sobre o solo. Destaca-se a importância de conhecer o desempenho sobre cobertura vegetal devido aos grandes avanços em termos de área dos sistemas conservacionistas, entre eles o sistema de plantio direto (GABRIEL FILHO *et al.*, 2004; YANAI *et al.*, 1999).

Brixius (1987) e Zoz *et al.* (2002) evidenciam que, na condição de roda deformável em superfície não sólida, o torque (T) aplicado na roda, desenvolve a tração total (GT) que age em um braço de alavanca (r). Uma parte da tração total é

exigida para vencer a resistência ao rolamento (MR), que é a resistência ao movimento da roda sobre o solo e o restante é a tração útil (NT). A gravura abaixo expõe as forças envolvidas em uma roda de tração (FIGURA 1).

Figura 1 - Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto



Fonte: Zoz e Grisso, (2003).

Para Brixius (1987), a velocidade de deslocamento teórica (V_t) depende do raio de rolamento (r) e da velocidade angular (ω). A potência no eixo motriz é o produto da velocidade teórica pela tração total, enquanto que a potência disponível é dada pelo produto da velocidade real com a tração útil. A razão entre essas potências define a eficiência trativa (TE), conforme apresenta a equação 1.

$$TE = \frac{(NT \times Va)}{(GT \times Vt)} \quad (1)$$

Dividindo esses termos pela carga dinâmica sobre o rodado (W_d):

GT/W_d = coeficiente de tração total (GTR)

NT/W_d = coeficiente de tração útil (NTR)

MR/W_d = coeficiente de resistência ao rolamento = GTR-NTR

A eficiência trativa é definida pela equação 2:

$$TE = \left(\frac{NTR}{GTR} \right) \left(\frac{Va}{Vt} \right) \quad (2)$$

Progressos consideráveis têm sido alcançados nos estudos da tração, conforme explicou Zoz (1997), tendo sido desenvolvidos critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaios realizados em pista de concreto.

Lanças (2009), fundamentado no “fator 0,86” (Wendel Bowers), que recomenda a obtenção das diferentes potências disponíveis em diferentes condições de solo através de sucessivas multiplicações da potência geradora por “0,86”, para se obter a potência útil e rendimento na barra de tração dos tratores agrícolas de rodas pneumáticas, considerando a patinagem média dos rodados de 10 a 12%. Deste modo, para os casos mais usuais tem-se as equações abaixo:

$$\text{Pot. TDP} = \text{Pot. Motor} \times 0,86 \quad (3)$$

$$\text{Pot. Max. BT, concreto} = \text{Pot. TDP} \times 0,86 \quad (4)$$

$$\text{Pot. Max. BT, solo firme} = \text{Pot. Max. BT, concreto} \times 0,86 \quad (5)$$

$$\text{Pot. Utilizável, BT, solo firme} = \text{Pot. Max. BT, solo firme} \times 0,86 \quad (6)$$

$$\text{Pot. Utilizável, BT, solo arado} = \text{Pot. Utilizável, BT, solo firme} \times 0,86 \quad (7)$$

$$\text{Pot. Utilizável, BT, solo solto} = \text{Pot. Utilizável, BT, solo arado} \times 0,86 \quad (8)$$

O rendimento na barra de tração em diversas condições de superfície para tratores de rodas pneumáticas com duas rodas motrizes (4x2) e com tração dianteira auxiliar (4x2-TDA), baseado no fator “0,86” de Wendel Bowers é demonstrado na tabela 1, em que os valores para tratores 4x2-TDA são resultantes do acréscimo de 7% dos valores de tratores 4x2. A potência na barra de tração pode ser calculada pela equação 9.

$$N_b = N_m \times \eta_b \quad (9)$$

Onde:

N_b = potência útil na barra de tração (cv ou kW)

N_m = potência útil do motor (cv ou kW)

η_b = rendimento na barra de tração

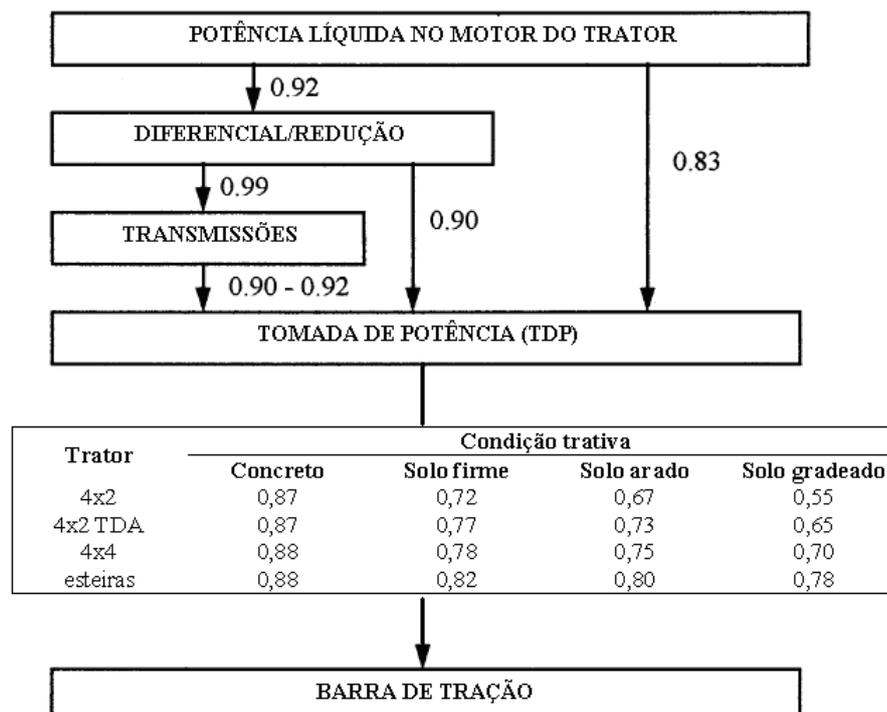
Tabela 1 - Rendimento na barra de tração para tratores de rodas pneumáticas e diversas condições de solo baseado no fator “0,86” de Wendel Bowers

| Condições de solo | η_b (%) – Tratores 4X2 | η_b (%) – Tratores 4X2-TDA |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Concreto | 74 | 79,2 |
| Solo firme – máxima | 64 | 68,5 |
| Solo firme – utilizável | 55 | 58,8 |
| Solo arado | 47 | 50,3 |
| Solo gradeado | 40 | 42,8 |

Fonte: adaptado de Lanças (2009)

A American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 1999) exibiu um diagrama de estimativa de perda de potência nos diversos setores do trator e em diferentes tipos de tratores (4x2, 4x2 TDA, 4x4 e de esteiras) e diferentes condições de superfície (FIGURA 2). A perda de potência disponível na barra de tração em relação à potência líquida no motor de tratores 4x2 pode variar de 22 a 51% para superfícies de concreto e solos soltos, respectivamente, enquanto a perda de potência dos tratores 4x2 TDA pode variar de 22 a 42% para superfícies de concreto e solos soltos, nessa ordem.

Figura 2 - Diagrama de estimativa de perda de potência nos diferentes setores do trator e em diversos tipos de tratores e condições de superfície



Fonte: Adaptado de ASABE D497.4 (1999).

Para Lanças (1996), as condições superficiais do solo firme apresentaram melhores resultados de eficiência trativa comparando-se com solo solto (preparado). Quando se muda da condição de pista de concreto para solo agrícola, é exatamente na interface rodado-solo onde as perdas de potência se tornam mais críticas (MIALHE, 1991).

Ao analisar o desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo, Jesuíno (2007) observou que, as condições superficiais do solo interferiram diretamente na relação entre o rodado e a superfície do solo. Sendo que nas condições específicas estudadas (pista de solo firme, solo mobilizado e solo com cobertura vegetal) o melhor desempenho do trator ocorreu na pista de solo firme e a condição superficial de solo mobilizado foi responsável pelo pior desempenho do trator.

2.2 Pneus agrícolas

Desde 1843, quando Charles Goodyear patenteou o processo de vulcanização da borracha, a deixando mais estável e resistente às mudanças de temperatura, passando pelos irmãos Michelin, em 1895, onde fabricaram rodas pneumáticas para um automóvel, abrindo o caminho para os pneus na indústria do automóvel (MICHELIN, 2015).

Já em 1934, a Michelin começou a vulcanizar fios de aço na carcaça, gerando pneus bastante resistentes, pois suportavam um número elevado de cargas. Com o descobrimento dos fios de aço na carcaça, a empresa Michelin desenvolveu o pneu radial em 1946 implementando no mercado um novo conceito de pneumático, separando as funções entre banda de rodagem e os flancos do pneu (MICHELIN, 2018).

Inicialmente, os tratores possuíam rodas metálicas, utilizadas nas lavouras, devido as rodas rígidas não proporcionarem tração, não podiam circular em vias públicas ou terrenos úmidos, e estas rodas também eram inadequadas para fins de cultivo, uma vez que causavam diversos danos às raízes das culturas (MÁRQUEZ, 2010).

No ano de 1933, a Allis Chalmers apresentou um trator montado com pneus no Wisconsin State Fair trabalhando em um arado. Em seguida, um piloto local levou-o para 57 km/h, revelando a melhoria no desempenho da máquina com a utilização

de pneus. Essa publicidade gerada foi de grande importante para a divulgação e consequente aumento das vendas dos pneus agrícolas (ALLIS-CHALMERS, 2018).

De acordo com a Nebraska Antique Farming (2018), em 1935, 14% da produção de tratores de rodas dos EUA (cerca de 20.000 tratores) foram equipados com pneus de borracha de fábrica. Em 1940, esse número cresceu para mais de 90% de tratores vendidos já com pneus.

Mialhe (1980), diz que os pneus utilizados em tratores e máquinas agrícolas devem suportar, com segurança, o peso do trator ou da máquina em condição estática e em movimento, agir como um sistema de amortecimento dos impactos provocados pelas imperfeições do solo, além de garantir com eficiência, a transmissão das forças motrizes e frenantes do trator ao solo e vice-versa.

O rodado é a junção do aro com o pneu, sendo a última parte de ligação do motor do trator com o solo, e, seu estudo é de fundamental importância para o desempenho do trator. Todo pneu é projetado para suportar determinadas cargas com uma pressão de ar especificada, sendo que a correta calibração dos pneus lhe garante maior vida útil. Portanto, é necessário conhecê-lo devido à interferência que pode causar no desempenho da máquina (CORRÊA, 1999).

O pneu apresenta estrutura em forma de tubo circular que, ao se inflar com uma determinada pressão, resiste, dentro dos limites normais de trabalho, às cargas nele aplicadas e às solicitações dinâmicas e estáticas que agem sobre o mesmo. O pneu é constituído basicamente por borracha vulcanizada e camadas de cordonéis, também chamadas de lonas (malhas de fibras de algodão, de aço, nylon, poliéster, etc), que se estendem ao longo de sua estrutura (MIALHE, 1980).

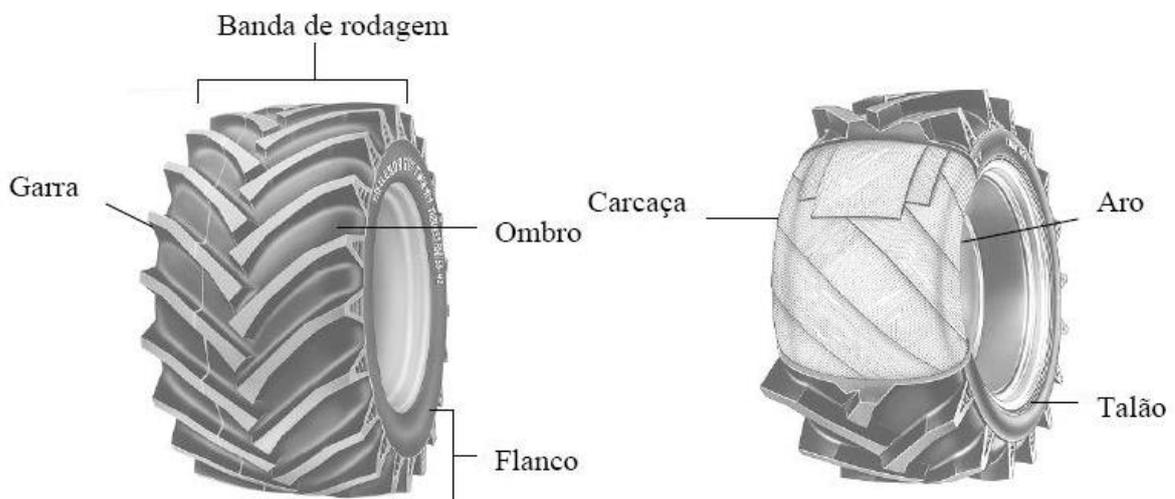
Segundo Márquez (2011), o pneu é composto por uma mistura de borracha sobre uma estrutura de fios em camadas. Esses fios se estendem de um lado a outro do pneu enrolando-se a um resistente arame de aço recoberto com cobre, o que melhora a aderência da borracha ao arame que forma o talão. Este conjunto de camadas forma o que se conhece como carcaça, que suporta a carga e assegura resistência e flexibilidade.

Conforme Barbosa *et al.* (2005), os conjuntos pneumáticos do trator representam um de seus mais importantes componentes, pois tem como função obter equilíbrio, deslocamento, direcionamento e esforço tratório.

De acordo com Mitas (2013), o pneu é constituído de 4 partes principais (FIGURA 3).

1. Banda de rodagem: parte que está em contato com a superfície de rolamento;
2. Flancos: paredes laterais. Protegem a carcaça de lonas. São dotados de uma mistura especial de borracha com alto grau de flexibilidade;
3. Talão: constituído internamente de arames de aço de grande resistência e tem por finalidade manter o pneu acoplado no aro;
4. Carcaça: é a parte de resistência do pneu. Corresponde ao conjunto de camadas ou lonas de poliéster, nylon ou aço. Retém o ar sob pressão que suporta o peso total das máquinas agrícolas.

Figura 3 - Partes constituintes de um pneu agrícola



Fonte: Adaptado de Trelleborg® do Brasil (2002).

Nos pneus agrícolas e florestais a banda de rodagem dispõe de ressaltos chamados de garras ou tacos, que permitem que o pneu se crave no solo relativamente preparado e, com isso, haja um aumento na capacidade de tração e um melhor ponto de apoio sobre o solo (MÁRQUEZ, 2011).

Segundo Horn et al. (2004), a banda de rodagem dos pneus é desenvolvida de acordo com o tipo de máquina que vai equipar e o trabalho que ele irá realizar. Esse fato implica na disposição, forma e arranjo das garras ou tacos sobre a banda de rodagem.

Os pneus agrícolas e florestais são classificados também de acordo com suas dimensões e disposição interna dos cordonéis e lonas, que formam a estrutura interna do pneu, segundo a Associação Latino Americana dos Fabricantes de Pneus, Aros e Rodas (ALAPA, 2013), geralmente descritas na lateral do pneu, como exemplifica a figura 4.

Figura 4 - Identificação das marcações na lateral do pneu agrícola



VF: Very High Flexion (alta flexão) - prefixo que designa uma categoria de pneus;

650: seção nominal do pneu, em mm;

60: relação entre altura do flanco/seção nominal do pneu = série do pneu;

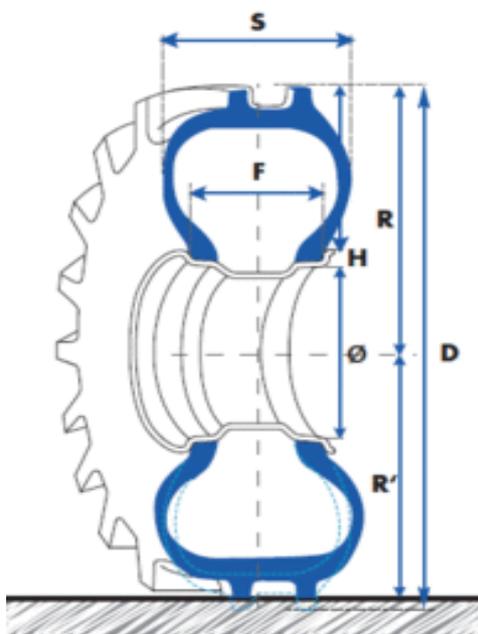
R: estrutura Radial;

38: diâmetro nominal do aro de roda, em polegadas

Fonte: Adaptado de Michelin® (2018).

Na figura abaixo, pode-se observar os componentes dimensionais do pneu agrícola (FIGURA 5).

Figura 5 - Componentes dimensionais do pneu agrícola



S: largura de seção do pneu agrícola;

R': raio com carga em estática*;

R: raio sem carga;

D: diâmetro externo, igual a 2 R;

C.d.R.: circunferência de rolamento do pneu em dinâmica*;

F: largura interior;

H: altura da pestana de engate;

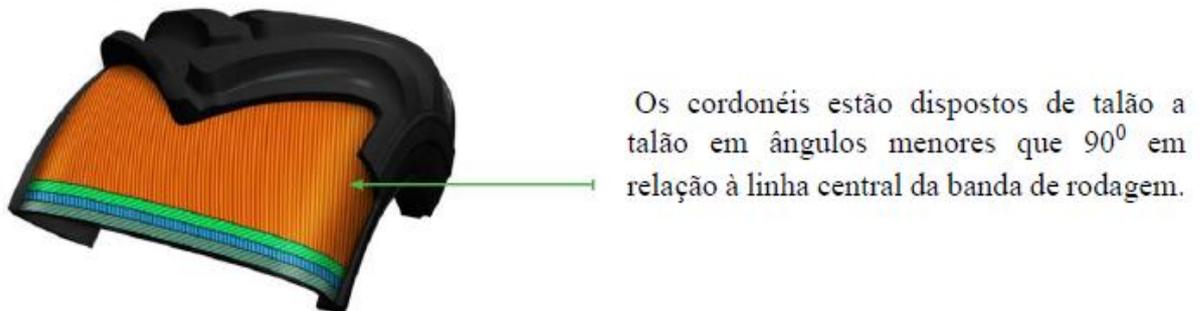
Ø: diâmetro na base (diâmetro interior do pneu).

Fonte: Adaptado de Michelin® (2018).

De acordo com ALAPA (2013), existem três tipos distintos de construção estrutural de pneus agrícolas, são eles: diagonal, radial e de baixa pressão e alta flutuação (BPAF). O pneu diagonal apresenta os cordões dispostos de talão a talão em ângulos menores que 90° (aproximadamente 30° a 40°) em relação à linha central

da banda de rodagem (FIGURA 6). Esses pneus admitem recauchutagem, refletindo em menor custo de aquisição.

Figura 6 - Ilustração de pneu diagonal



Fonte: Adaptado de Nokian® Tyres (2018).

O pneu radial apresenta os cordões distribuídos de talão a talão em ângulo de 90° em relação à linha central da banda de rodagem, o que lhe confere flexibilidade lateral (FIGURA 7). Os pneus radiais não permitem recauchutagem, implicando em maiores custos de aquisição. As cintas estabilizadoras sob a banda de rodagem proporcionam uma característica plana da área de contato do pneu com a superfície.

Figura 7 - Ilustração de pneu radial

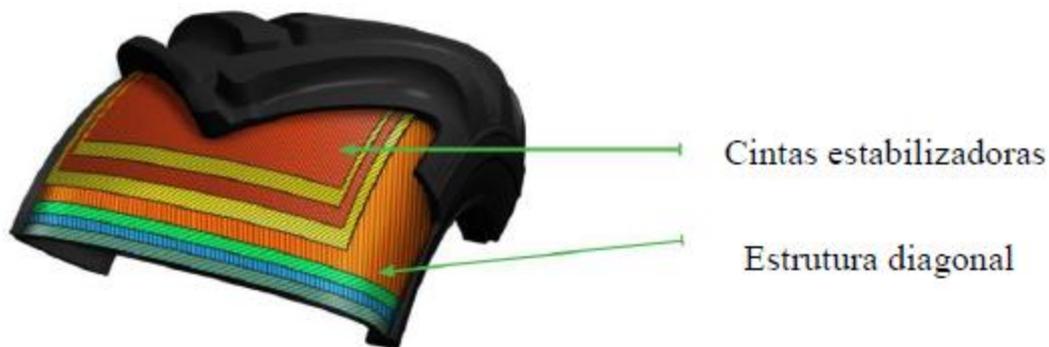


Fonte: Adaptado de Nokian® Tyres (2018).

No pneu baixa pressão e alta flutuação (BPAF) os cordões são dispostos igualmente ao pneu diagonal, abaixo da banda de rodagem e sobre os cordões existem cintas estabilizadoras, que proporcionam uma característica mais plana da banda de rodagem com a superfície (FIGURA 8). Esse tipo de pneu apresenta banda de rodagem radial e flanco diagonal, permitindo assim, maior flexibilidade e resistência ao mesmo. Os pneus BPAF são mais largos que os outros tipos de pneus, não são

fabricados no Brasil e não admitem recauchutagem, sendo assim, de maior custo de aquisição.

Figura 8 - Ilustração de pneu de baixa pressão e alta flutuação (BPAF)



Fonte: Adaptado de Nokian® Tyres (2018).

Cordeiro (2000), analisando o desempenho operacional de um trator John Deere – SLC modelo 6600, 4x2 TDA, utilizando três modelos de pneus: diagonal, radial e BPAF (Baixa Pressão e Alta Flutuação), observou que o pneu diagonal apresentou maiores capacidades de tração do que os pneus radiais e BPAF, com menor patinagem nas classes de maior força de tração na barra e maiores níveis de lastro.

Lopes *et al.* (2005), relatou em seus estudos que a pressão de inflação é um fator decisivo para o desempenho dos tratores agrícolas. A pressão de inflação influenciou significativamente a velocidade de deslocamento, patinamento e potência na barra de tração, sem apresentar uma tendência de comportamento. A interação entre pressão de inflação e carga sobre os rodados mostrou que determinadas combinações desses dois fatores são mais propícios para o desenvolvimento de maior velocidade de deslocamento e menor patinamento.

A pressão de inflação tem função de grande importância na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície, para uma menor compactação do solo e maior eficiência trativa deve-se ter uma maior área de contato do pneu com o solo, utilizando-se menores pressões de inflação dos pneus. Os rodados devem suportar o peso e atuar como agente amortecedor de impactos ocasionados pelo tráfego de máquinas agrícolas, onde sua utilização correta quanto à pressão de inflação e tipo construtivo de pneu influencia significativamente em consumo de combustível, potência útil e capacidade de tração de máquinas agrícolas (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011a).

Esses mesmos autores, corroborados por Lanças *et al.* (2010) e Corrêa *et al.* (2000), relatam que um dos objetivos principais da correta calibragem dos pneus agrícolas é melhorar a capacidade de tração dos tratores agrícolas. A pressão de inflação varia de acordo com as dimensões e tipo de pneu, tipo de equipamento utilizado e características de operação a ser realizada, permitindo aumentar a produtividade, controlar a compactação do solo, reduzir o patinamento dos rodados, economizar combustível e aumentar a vida útil dos rodados. A pressão de inflação dos pneus indevida, seja ela em excesso ou insuficiente, ocasionará numa operação menos produtiva e com maior custo.

A pressão de inflação (“baixa/correta”) para pneus radiais apresentaram melhores resultados nos coeficientes de tração líquida e bruta e na eficiência trativa em função da carga no rodado (LANÇAS *et al.*, 2009).

Os tratores agrícolas podem ser regulados pelo usuário, com o objetivo de melhorar as suas condições de trabalho, eficiência e economia durante as operações agrícolas. Dentre estas regulagens, pode-se destacar o tipo construtivo dos pneus, a sua pressão de inflação e o lastro líquido e sólido, além da distribuição do peso no trator. Entretanto, quando alguns destes fatores são alterados, modifica-se também o avanço do trator. Denomina-se avanço de um trator a percentagem da diferença de rotação da roda dianteira, com e sem a tração dianteira acionada, para um mesmo deslocamento da roda traseira, em tratores 4x2 TDA, sendo baseada na relação mecânica de distribuição de torque na dianteira e traseira do trator e o raio de cada roda (Linares *et al.*, 2006), os limites recomendados de avanço são de 1 a 5%.

A área de contato do pneu com o solo é a responsável, em geral, pelo desempenho do trator, influenciando também no índice de patinamento de pneus e no poder de tração da máquina (SANTOS, 2003).

A área de contato de um pneu é um critério essencial para a determinação do tamanho da impressão (*footprint*) e da carga que o pneu está aplicando no solo. À medida que aumenta a área de contato do pneu com o solo, com a utilização de pneus com maior largura da banda de rodagem, ou até mesmo com o uso de menor pressão de inflação e lateral mais flexível, há uma distribuição de maneira uniforme da carga do rodado sobre o solo, portanto a resistência ao rolamento e o consumo de combustível reduzem (DISERENS, 2009).

2.3 Patinamento dos rodados

A patinagem ou patinamento é a denominação que se dá ao deslizamento entre a superfície da banda de rodagem do pneu e o solo, sendo ela um fator determinante para que se tenha tração. Durante uma operação agrícola, o patinamento pode ser facilmente visualizado pelo movimento giratório das rodas motrizes do trator, com pequeno ou nenhum avanço das mesmas, o que acontece devido à falta de aderência das rodas ao solo (GAMERO e LANÇAS, 1996).

O patinamento das rodas motrizes nos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições depois de desacoplado o implemento (MIALHE, 1996).

Nos tratores agrícolas, a patinagem dos rodados ocorre em virtude de vários fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes (HERZOG *et al.*, 2002).

Lanças e Upadhyaya (1997), inferiram que para que ocorra tração é necessário que exista patinamento, no entanto, se ultrapassar determinados limites, pode ocorrer perda da aderência e redução da tração dos rodados. Estes mesmos autores inferiram que nos tratores agrícolas o patinamento dos rodados ocorre devido a diversos fatores, dentre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento, tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes, tipo de pneu, a pressão de inflação, carga sobre o rodado e tipo da banda de rodagem. Além disso, a declividade e teor de água do solo também afetam a patinagem das rodas motrizes do trator.

A norma EP496.2 (ASABE, 1997a) diz que o patinamento de um rodado de tração pode ser definido como a redução de deslocamento em determinada condição de piso comparada com uma condição específica, chamada condição zero, onde se mede o rolamento do rodado em piso indeformável e em situação sem carga. A mesma entidade (ASABE, 1997b) descreve que para obtenção de máxima eficiência de tração, busca-se valores de patinamento na faixa de 4 a 8% em superfície de concreto, 8-10% em solos não mobilizados e de 11-13% em solos cultivados, mas é importante informar que os solos não mobilizados não têm palhada na superfície, ou seja, solo descoberto.

Masiero (2010) constatou em sua pesquisa, valores de patinamento dos rodados da ordem de 7,60%, em pista de concreto; 11,90%, em solo firme; 14,60%, em solo com cobertura vegetal e 16,20%, em solo mobilizado, quando avaliou o rendimento dinâmico na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA), em diferentes condições de superfície do solo.

Segundo Gu e Kushwara (1994), a distribuição de carga dinâmica e desempenho trativo de um trator 4x2 TDA, operando com pressão de inflação dos pneus de 124 kPa, em 7 (sete) condições de patinamento (0 – 25%) obtidas de acordo com sete marchas do trator lastrado, concluíram que para patinamento maior que 7%, a distribuição de potência foi afetada somente pela distribuição da carga dinâmica, e esta distribuição deveria ser de cerca de 48% para solo cultivado e de 54% para solo sem preparo, para reduzir o esforço de tração e manter uniforme a distribuição de peso sobre os rodados.

Avaliando o patinamento de um trator agrícola, Jenane *et al.* (1996) concluíram que o trator, quando trabalhou com patinamento fora do ideal, houve uma redução considerável na potência disponível na barra de tração.

Salvador, Mion e Benez (2009), analisando o consumo de combustível na subsolagem antes e após diferentes tipos de preparo, concluíram que o menor patinamento das rodas motrizes proporcionou menor compactação do solo, menor desgaste dos pneus e dos mecanismos de transmissão, assim como reduziu os gastos adicionais de combustível.

2.4 Consumo de combustível

A mensuração da quantidade de combustível consumida, representa um dos mais importantes pontos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia (MIALHE, 1996). Para o agricultor, no momento da escolha do trator para a compra, baseia-se principalmente na potência, no conforto, na facilidade de manobra, na manutenção e no preço, não se atentando, muitas vezes, em considerar a eficiência energética (SILVEIRA e SIERRA, 2010).

Para Correa *et al.* (1999), consumo de combustível empregado para a implantação de culturas agrícolas é função de vários elementos, tais como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade de operação,

tipo e condição de solo, tempo de manobras e, principalmente, do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção.

O consumo de combustível pode ser representado como unidade de volume por unidade de tempo ($L \cdot h^{-1}$), não considerando-se a influência da variação da temperatura, muito menos a quantidade de potência gerada. Outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg \cdot h^{-1}$), esta forma, apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência gerada. O método mais adequado tecnicamente de se determinar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ($g \cdot kWh^{-1}$). Esta maneira é conhecida como consumo específico e, pela razão de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanho e formas diferentes (LOPES *et al.*, 2003).

Segundo Gabriel Filho *et al.*, (2010), na transmissão de potência do motor de tratores para a barra de tração, acontecem perdas de energia que, de acordo com as condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perda de potência, apresentando condições inadequadas para a tração, causando um consumo excessivo de combustível pelo trator.

De acordo com Mantovani *et al.* (1999), o medidor de fluxo de combustível é um sensor lógico e que o seu mecanismo de ação é através de duas engrenagens ovais, uma delas é marcada por um ímã que toca um sensor indutivo a cada volta, correspondendo 1 ml de volume deslocado.

Para Corrêa *et al.*, (1999) no momento da implantação de culturas agrícolas, o consumo de combustível é função de diversos fatores, como: adequação e condição do conjunto trator-equipamento, potência do motor, profundidade da operação, tipo e condição da superfície, tempo de manobras e do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção.

Bernardes e Balastreire (1999), ao conduzirem ensaios de campo na barra de tração de um trator agrícola, mensurando o consumo de combustível em diversas condições de esforço trativo e potência na barra para a determinação das curvas de isoconsumo de combustível, verificaram que, para o consumo de combustível ser reduzido de maneira aceitável, é necessário que o trator tenha no mínimo 16 marchas para que se consiga trabalhar faixas de velocidades mais econômicas, visto que pode-se ter maiores possibilidades de escalonamento de velocidades.

Nos ensaios de um trator tracionando um escarificador, em solo com e sem preparo inicial, Acuña *et al.* (1995), observaram que o consumo específico de combustível diminuiu à medida que a potência na barra aumentou. Os dados obtidos pelos mesmos autores mostraram também que, sob uma força de tração de 35 kN na barra de tração, o consumo específico de combustível foi menor em relação ao trator operando com força de tração de aproximadamente 38 kN, o que pode ser justificado segundo os autores, pela maior demanda de potência do trator na condição de maior força de tração.

Avaliando o consumo de combustível de um trator com semeadora-adubadora na implantação da cultura do milho sob diversos métodos de preparo do solo sem cobertura vegetal, Levien e Gamero (2000) observaram que o consumo para o preparo convencional de 10,08 L.h⁻¹ não diferenciou em média do plantio direto 9,73 L.h⁻¹, diferenciando-se da escarificação, em que a média do consumo foi 10,90 L.h⁻¹.

Nagaoka *et al.* (2002) em seus estudos concluíram que as condições da superfície do solo também afetam o consumo de combustível do trator, pois ao comparar o consumo de combustível de um trator em tipos de preparo do solo distintos, concluíram que o maior consumo de combustível do trator se deu quando utilizou-se o método convencional em relação à área sob o sistema de plantio direto.

O consumo específico de combustível é um indicador consistente para a avaliação do desempenho do trator, de acordo com Cordeiro (2000). Este mesmo autor, ao analisar o desempenho operacional de um trator, constatou que o pneu diagonal obteve menores valores de consumo específico de combustível que o pneu radial, em um solo mobilizado.

Avaliando a relação de consumo específico de combustível, Salvador, Mion e Benez (2009) concluíram que os menores valores de consumo específico de combustível significam a otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento a fonte de potência.

2.5 Desempenho do trator

Conforme Silva *et al.* (1997), a avaliação do desempenho de tratores agrícolas tem como objetivo, em ensaios de campo, gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos mecanizados na agricultura.

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia química presente nos combustíveis, para ser fornecida na forma de energia mecânica, por meio da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas e equipamentos agrícolas. Apesar de o trator poder ser utilizado para fornecer energia através da tomada de potência ou por meio do sistema hidráulico (MONTEIRO *et al.*, 2009).

Barbosa *et al.* (2005) ao compararem o desempenho operacional de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais a partir de análises de parâmetros indicadores do desempenho dos referidos pneus sob condições específicas de trabalho, concluíram que uso de pneus radiais proporcionou incrementos nos valores de capacidade de tração e potência na barra, diminuição nos valores de consumo específico de combustível e não causou variações no consumo horário de combustível.

Zoz *et al.* (2002) e Zoz e Grisso (2003) relataram que, para se entender a mecânica de tração, é de grande importância entender a diferença entre desempenho de tração e o desempenho do trator. O desempenho do trator é proporcional ao desempenho dos mecanismos de tração, mas não igual a ele. Então, para se obter o desempenho de tração é fundamental conhecer a potência disponível no dispositivo de tração. Um trator pode operar com uma combinação de dispositivos de tração diferentes, ou seja, pneus de tamanho diferentes nas árvores dianteiras e traseiras.

Cordeiro (2000) expôs que as avaliações diretas do desempenho de tratores em condições de campo são obtidas através da instrumentação e monitoramento dos mesmos, permitindo assim a determinação de fatores diretamente relacionado com a eficiência de trabalho do trator. O autor realizou um estudo de desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento e concluiu que estes fatores alteraram significativamente a conversão energética, a patinagem e a força de tração do trator.

2.6 Ensaios de tratores

Molin *et al.* (2002) asseguraram que o ensaio de máquinas agrícolas de tração é uma necessidade real que possibilita o critério sobre o desempenho do equipamento como fonte de potência.

O desempenho de um trator agrícola pode ser obtido através de um ensaio dinamométrico, obtendo-se desta forma valores de desempenho do trator, geralmente expressos na forma de gráficos ou em ensaios de campo realizados em diferentes superfícies de pistas de ensaio, tendo como base um modelo de rendimento que será avaliado (força de tração, patinamento, consumo de combustível, dentre outros), seguindo os procedimentos pré-estabelecidos por uma norma oficial de ensaio (RUSSINI, 2012).

De acordo com Mialhe (1996), o ensaio de máquinas agrícolas vem sendo realizado há muito tempo e é voltado para o levantamento de dados que permitam analisar as características de desempenho. Pode ser conduzido em três ambientes, são eles os laboratórios, dispositivos de simulação e no campo. O ensaio de tratores é uma das maneiras de obter informações, principalmente no que diz respeito ao seu desenvolvimento de tração. Esses ensaios visam à obtenção de informações sobre o desempenho dos rodados, relacionados com as características da interação com o solo.

Para Silva *et al.* (2001), a instrumentação de máquinas agrícolas para a realização de ensaios de campo tem como objetivo a geração de informações, através de sensores instalados nos tratores e nos equipamentos, propiciando a obtenção de parâmetros que permitam dimensionar e racionalizar o uso desses conjuntos.

Os tratores agrícolas têm seu desempenho medido pela força e potência desenvolvida na barra de tração, eficiência de tração, torque e potência desenvolvida na tomada de potência, patinamento das rodas motrizes e consumo de combustível. Assim sendo, o rendimento de um trator agrícola deve ser medido em condições ideais. Isto envolve o ensaio do trator num dinamômetro ou em uma superfície pavimentada de concreto ou asfalto, chamada "pista de teste". Sob estas condições pode ser obtido o máximo desempenho possível (SILVA; BENEZ, 1997).

Estes mesmos autores construíram um sistema de aquisição de dados para mensurar, mostrar e gravar os dados exigidos para a avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos agrícolas em trabalhos de campo, usando um sistema eletrônico de aquisição de dados e instrumentos indicadores digitais. Chegaram à conclusão que a vantagem do sistema eletrônico de aquisição de dados é a variação na taxa de amostragem e a grande quantidade de dados coletados durante a realização dos ensaios, permitindo o estudo dos dados monitorados de modo detalhado (SILVA; BENEZ, 1997).

Segundo Fiorese (2011), os ensaios de pista com tratores agrícolas têm como objetivo gerar um relatório com resultados, que possibilita comparar o desempenho de tratores, independente do lugar onde foram feitos os testes. Isso se torna possível devido à padronização para realização dos ensaios. A padronização se dá devido à existência de normas, que constituem os procedimentos necessários a serem seguidos pela instituição responsável pelos ensaios.

No Brasil, mesmo adotando-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT específicas para as diversas avaliações dos tratores agrícolas, as opções dos fabricantes e pesquisadores é bastante extenso, já que muitos preferem seguir normas internacionais, (FIORESE, 2011), ampliando assim a visualização das metodologias empregadas.

Para a realização dos ensaios dinamométricos e ensaios de campo existem normas como, por exemplo, a OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) e a ISO (International Standards Organization), que devem ser seguidas para que os ensaios sejam padronizados (RUSSINI, 2012).

Os códigos estabelecidos pela norma OECD (2018) permitem que os ensaios realizados na maioria das estações mundiais sejam possíveis de comparar os tratores através da utilização de uma norma comum, sendo que valores relativos à potência e consumo de combustível, enquanto no ensaio da barra de tração o trator traciona uma carga em uma pista de concreto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, campus universitário do Pici, localizado em Fortaleza.

Os ensaios foram realizados em pista de concreto pertencente ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA. As coordenadas geográficas onde a pista se encontra são 3°44'49.40" latitude Sul e 38°34'54.15" longitude Oeste, a uma altitude de 28 metros.

O clima da região onde foi realizado o experimento é definido como Aw', que significa clima tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono e temperatura média em todos os meses superiores a 18 °C, conforme classificação de Köppen (1923).

3.1.1 Pista de concreto

A pista de concreto possui formato oval, tendo 100 metros de uma extremidade à outra, sendo duas retas de 75 metros de comprimento por 4 metros de largura, totalizando 300 m² de área, com 1% de declividade no sentido do comprimento, padrões estes que seguem as normas da OECD – CODE 2 (2018), conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Vista da pista de concreto



Fonte: Google Earth Pro (2018)

3.2 Trator

Para a realização dos ensaios, foi utilizado um trator 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), da marca Valtra®, modelo BM120, com potência de 88,26 kW (120 cv), estando o mesmo sem nenhum tipo de lastro sólido ou líquido. Foi utilizado também, como auxílio para o ensaios de tração em sistema de comboio, o trator 4x2 TDA Valtra®, modelo A750, com potência máxima de 55,16 kW ou 75 cv (FIGURA 10).

Figura 10 – Tratores utilizados no experimento



Fonte: Próprio autor

Para a medição da massa do trator avaliado no experimento, foi efetuada uma pesagem no laboratório de inspeção veicular pertencente à Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC, em uma balança rodoviária, capaz de pesar cada eixo separadamente (FIGURA 11).

Figura 11 - Pesagem do trator em laboratório



Fonte: Lopes (2017)

Os dados referentes à determinação do peso do trator em laboratório se apresentam na tabela abaixo (TABELA 2).

Tabela 2 – Peso, distribuição e relação peso/potência do trator

| | Peso | Distribuição de peso | Relação peso/potência |
|-----------------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|
| Eixo dianteiro | 2110 Kg | 49 % | |
| Eixo traseiro | 2210 Kg | 51 % | |
| Total | 4320 Kg | 100 % | 36 Kg.cv ⁻¹ |

Fonte: Próprio autor

3.3 Pneus

Foram utilizados dois conjuntos de pneus diagonais, o primeiro, da fabricante TITAN®, modelo HI-TRACTION LUG, com câmara de ar e 10 lonas nos pneus traseiros e 6 lonas nos pneus dianteiros do trator, sendo este conjunto de pneus desgastados pelo uso constante em operações agrícolas. O outro conjunto de pneus utilizados no experimento foram os pneus VANTAGE, fabricados pela PIRELLI®, modelo VA, nos rodados traseiros, com 10 lonas, nos rodados dianteiros do trator, foram utilizados os pneus fabricados pela PIRELLI®, modelo TM95, com 6 lonas. Este último conjunto era constituído de pneus novos, com garras no tamanho original de fabricação. As especificações dos pneus são apresentadas na tabela 3. Foi efetuada também a medição da altura das garras dos pneus, tomando como base a norma OECD – Code 2. Segundo a norma, a altura das garras dos pneus não pode ser inferior a 65% da altura dos pneus quando novos.

Tabela 3 – Características dos pneus utilizados no experimento

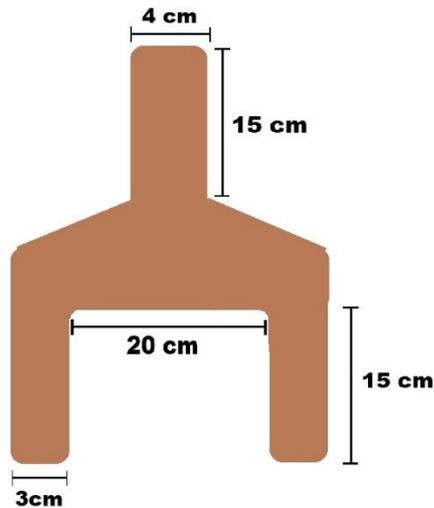
| Pneus | Dimensões | Diâmetro externo (mm) | Diâmetro interno (mm) | Largura (mm) | Altura de garra (mm) | Integridade do pneu (%) |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Dianteiro (novo) | 14.9 - 24 | 1170 | 610 | 379 | 41,18 | 100 |
| Traseiro (novo) | 18.4 - 34 | 1560 | 864 | 467 | 45,02 | 100 |
| Dianteiro (desgastado) | 14.9 - 24 | 1170 | 610 | 379 | 22,78 | 55,35 |
| Traseiro (desgastado) | 18.4 - 34 | 1560 | 864 | 467 | 31,84 | 70,73 |

Fonte: Próprio autor

Essa mensuração de altura de garras foi realizada com o auxílio de um instrumento de medição de três pontos, e foi feita esta medição de ambos os conjuntos de pneus utilizando um medidor de altura de garras de pneus de tratores desenvolvido

para o experimento (FIGURA 12), em que consistia de um paquímetro digital, afixado em um apoio de madeira (FIGURA 13), realizando a leitura posicionando-o perpendicularmente à direção da banda de rodagem e usando como referência para a medição o ponto mais central possível do pneu, repetindo esse procedimento oito vezes por pneu, para aumentar a confiabilidade da medição.

Figura 12 – Representação do suporte para medição de altura de garras



Fonte: Próprio autor

Figura 13 – Determinação da altura da garra dos pneus com medidor



Fonte: Próprio autor

Foi realizada a calibração dos pneus, onde os mesmos ficaram com pressão de inflação de 151,7 kPa (22 PSI) nos pneus traseiros e 124,1 kPa (18 PSI) nos dianteiros. Em seguida, foi determinado o avanço, onde para a obtenção desse valor, contou-se dez voltas do pneu traseiro do trator, em velocidade reduzida, na pista de concreto, e observou-se quantas voltas deram no pneu dianteiro, com a Tração Dianteira Auxiliar (TDA) ligada e desligada, obtendo esses dados, utilizou-se a equação 10 para confirmar que estava dentro da faixa recomendada (1 a 5 %), de acordo com a pressão de inflação dos dois jogos de pneus. Para os tipos de pneus, o avanço ficou em torno de 1,5%, podendo dar continuidade ao experimento.

$$Av = \frac{Nv_{ct} - Nv_{st}}{Nv_{ct}} * 100 \quad (10)$$

Onde:

Av = Avanço do trator (%);

Nv_{ct} = Número de voltas do pneu dianteiro com a tração ligada;

Nv_{st} = Número de voltas do pneu dianteiro com a tração desligada

3.4 Aquisição de dados

Para a coleta das informações e aquisição e monitoramento dos sinais, foram instalados sensores de rotação, modelo GIDP-15-U-12V, nos rodados dianteiros e traseiros, na tomada de potência, no sistema de alimentação de combustível e na barra de tração (FIGURA 14). Cada *encoder* instalado emitia pulsos, sendo 15 pulsos por revolução do rodado, que eram convertidos no próprio *software* do receptor de dados de acordo com local que era instalado no trator.

Figura 14 – Representação dos sensores instalados no trator



Fonte: Próprio autor

Estes sinais foram adquiridos pelos *encoders* e enviados para um *datalogger* para trator, modelo DLT-001/16, fabricado pela MASQUETTO Automação & Equipamentos. Este equipamento funciona como um coletor de dados portátil, armazenando os dados de desempenho de tratores e implementos em campo. Possui entradas para transdutores de consumo de combustível, força na barra de tração, rotação do motor, patinamento dos rodados, temperatura de combustível e outros, sendo utilizado apenas os sensores de rotação dos rodados e de força. É alimentado por bateria própria, sendo autônomo ao trator. Os pulsos eram recebidos, transformados e armazenados para posterior interpretação (FIGURA 15).

Figura 15 – *Datalogger* para armazenamento de dados obtidos pelos sensores

Fonte: Próprio autor

3.5 Velocidades de deslocamento

Para saber quais velocidades seriam utilizadas no experimento, foram dados diversos tiros ao longo da pista, tomando como base as velocidades de ensaio previstas na norma OECD – Code 2, tais velocidades indicadas eram 2,5; 3,5; 5,0; 6,5; 8,0; 11,0 e 17 km.h⁻¹ (0,69; 0,97; 1,39; 1,80; 2,22; 3,05 e 4,72 m.s⁻¹, respectivamente) ou o mais próximo possível desses valores.

Desprezou-se a primeira e a última velocidade, e as cinco demais foram obtidas realizando combinações de marchas e rotações do motor entre o trator de tração e o trator suporte do comboio, as combinações são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Combinações de marchas e rotação para obtenção das velocidades

| Trator | Combinação marcha/rotação (RPM) | | | | |
|---------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Vel. 1 | Vel. 2 | Vel. 3 | Vel. 4 | Vel. 5 |
| BM 120 | L2 (1800) | L2 (2200) | L3 (2000) | L4 (2000) | H1 (2000) |
| A 750 | L3 (0) | L3 (0) | L3 (1500) | L3 (1500) | L4 (2000) |

Fonte: Próprio autor

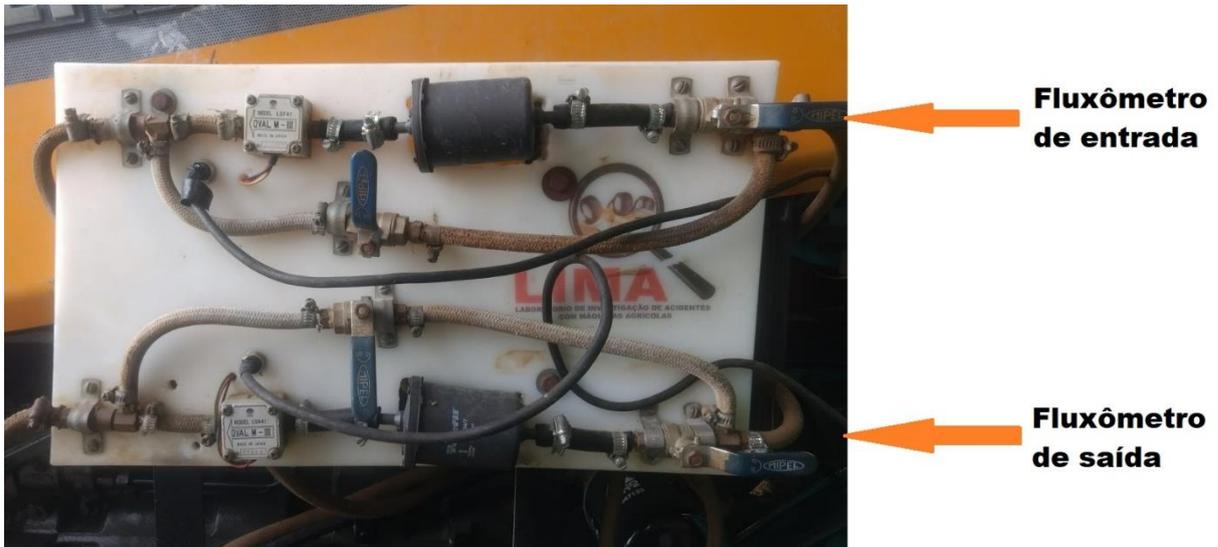
A partir dessas combinações de marchas e rotações, obtiveram-se as velocidades de 1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹ (4,0; 5,0; 6,0; 8,5 e 10 km.h⁻¹, respectivamente).

3.6 Testes realizados

3.6.1 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado utilizando dois medidores de fluxo de combustível da marca Oval[®], modelo LSF 41 Oval M-III e LSN 41 Oval M-III, onde foram instalados no sistema de combustível do trator, em série na entrada da bomba injetora de combustível e outro no retorno do combustível ao tanque, obtendo-se durante o percurso, o volume de combustível consumido pelo conjunto trator tração-trator suporte, em ml (FIGURA 16).

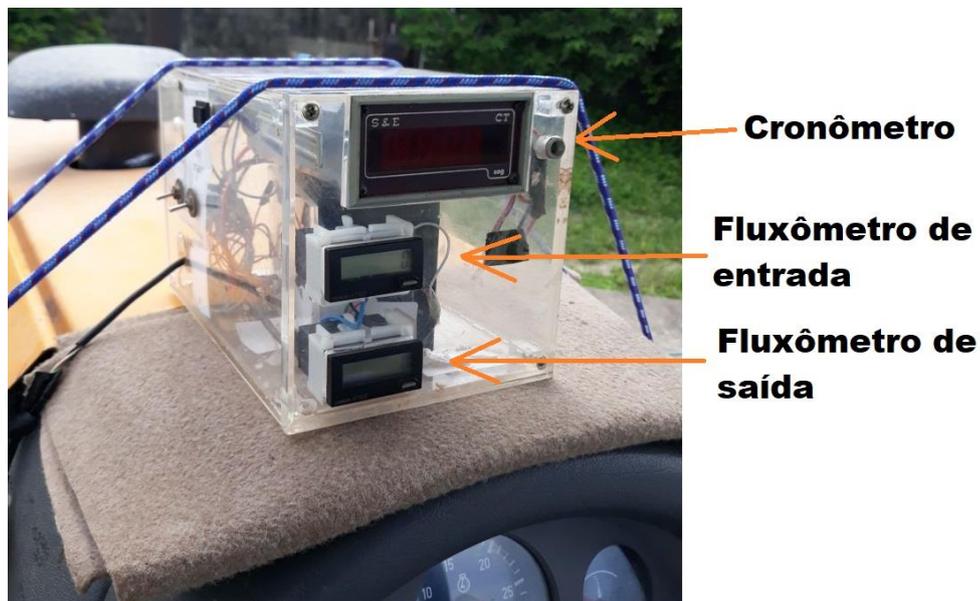
Figura 16 - Medidores de fluxo de combustível no trator



Fonte: Próprio autor

O princípio de operação dos fluxômetros constitui-se em emitir um pulso a cada volta das engrenagens internas, onde cada pulso emitido equivale a 1 ml de combustível, onde esses pulsos foram lidos em um receptor de dados do fluxômetro (FIGURA 17). Desta maneira, pode se calcular o consumo horário volumétrico de acordo com a equação 11, também pôde-se obter o consumo específico de combustível (EQUAÇÃO 12).

Figura 17 – Leitor dos dados colhidos pelos fluxômetros



Fonte: Próprio autor

$$Ch = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (11)$$

Onde:

Ch = Consumo horário volumétrico de combustível (L.h⁻¹);

Np = número de pulsos gerados pelos fluxômetros;

t = tempo de percurso na parcela (s);

3,6 = fator de conversão.

$$Cesp = \frac{Ch \times \rho}{Pb} \quad (12)$$

Onde:

Cesp = Consumo específico de combustível (g.kWh⁻¹);

Ch = Consumo horário (L.h⁻¹);

ρ = Densidade do combustível (826 g.L⁻¹ para temperatura de 40° C);

Pb = potência média requerida na barra de tração do trator (kW).

3.6.2 Força na barra de tração

Para a obtenção do esforço na barra de tração, foi determinada pelo método indireto (MIALHE, 1996), utilizando um comboio de tratores. O comboio consiste na utilização de dois tratores, onde o primeiro é chamado trator de tração, pois tracionará o segundo, denominado de trator suporte. Entre os dois tratores, instalou-se uma célula de carga da marca HBM, modelo U 10M, com sensibilidade de 135 kW, colocada entre a barra de tração do trator de tração e uma barra fixada na parte dianteira do trator suporte (FIGURA 18), para a simulação das cargas na barra de tração. A força de tração foi obtida automaticamente e os valores (APÊNDICE A) armazenados no *datalogger* pré programado, conforme a Equação 13.

Figura 18 – Célula de carga instalada no sistema de comboio



Fonte: Próprio autor

$$Fm = \frac{\sum_{i=1}^n Fi}{t} \quad (13)$$

Onde:

Fm = Força de tração média (kN);

Fi = Força de tração instantânea (kN.s⁻¹);

t = Tempo de percurso na parcela (s).

Em seguida, calculou-se a potência média exigida na barra de tração, em função da força de tração e da velocidade de deslocamento (EQUAÇÃO 14).

$$Pb = \frac{Fm \times Vm}{3,6} \quad (14)$$

Onde:

Pb = potência média requerida na barra de tração do trator (kW);

Fm = força de tração média requerida na barra de tração (kN);

Vm = velocidade média de deslocamento (km.h⁻¹);

3,6 = fator de conversão.

Em seguida, obteve-se o cálculo do rendimento na barra de tração, conforme a equação 15.

$$Rb = \frac{Pb}{Pm} \times 100 \quad (15)$$

Onde:

Rb = rendimento na barra de tração (%);

Pb= potência na barra de tração (kW);

Pm= potência no motor (88,26 kw) na rotação nominal (conforme informação do fabricante).

Foi calculado também o coeficiente de tração, conforme a equação abaixo (EQUAÇÃO 16).

$$CT = \frac{Fbt}{P} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

CT = Coeficiente de tração (adimensional);

Fbt= Força na barra de tração (Kn);

P= peso do trator (Kn).

3.6.3 Velocidade de deslocamento

A velocidade média de deslocamento foi calculada em função do tempo necessário para o trator percorrer cada parcela de 30 metros de comprimento e calculada de acordo com a equação 17.

$$Vm = \frac{s}{t} \quad (17)$$

Onde:

Vm = Velocidade média de deslocamento (m.s⁻¹);

s = espaço percorrido (m);

t = tempo (s).

3.6.4 Patinamento dos rodados do trator

Para a determinação do patinamento dos rodados dianteiros e traseiros do trator, obteve-se com os sinais de pulsos recebidos pelos *encoders* instalados nos rodados dianteiros e traseiros (FIGURA 19) e utilizando a equação 18. A caracterização deste patinamento foi alcançada com o trator tracionando o comboio fornecendo resistência (carga) e com o trator tracionando o comboio sem nenhuma resistência (sem carga). Como não foi acionada a tração dianteira auxiliar (TDA), foi calculado apenas o patinamento do rodado efetuou tração, ou seja, o rodado traseiro.

Figura 19 – Sensores para a medição do patinamento



Fonte: Próprio autor

$$Pat = \frac{N_1 - N_0}{N_1} \times 100 \quad (18)$$

Onde:

Pat = patinamento dos rodados (%);

N_0 = número de pulsos sem carga;

N_1 = número de pulsos com carga.

3.7 Ensaio OECD – Code 2

O trator operado no experimento foi utilizado como se tivesse retirado da linha de produção do fabricante, em concordância com as especificações e descrições apresentadas no folheto do fabricante. A metodologia utilizada no presente experimento seguiu as recomendações da OECD, e foi baseada no documento CODE 2, (OECD, 2018)

Para a execução dos ensaios segundo as normas OECD – Code 2, o trator utilizado no ensaio devia estar sem nenhum tipo de lastro (sólido ou líquido) e o ensaio na barra de tração para determinar sua potência disponível aconteceu em diversas combinações de marchas e rotações do motor.

Os ensaios na barra de tração foram conduzidos tomando como base o protocolo de ensaio da OECD - Code 2, a fim de fornecer resultados comparáveis em todos os países.

Os ensaios foram realizados em um ambiente limpo, plano, horizontal e seco numa superfície de rolamento de concreto, obedecendo as normas OECD – Code 2.

3.8 Descrição dos tratamentos

No presente experimento, a escolha dos tratamentos foi definida em função do nível de desgaste dos pneus (pneu novo e desgastado com o uso) e de diferentes combinações de marchas e rotações, mencionadas anteriormente na tabela 4. Essas combinações correspondem às 5 velocidades testadas do experimento, que foram 1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹, respectivamente.

3.9 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco velocidades de deslocamento (1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹) e dois tipos de conjuntos de pneus, de acordo com seu desgaste, em pista de concreto, compreendendo um esquema fatorial 5x2, com cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais.

Todos os dados passaram por uma verificação de normalidade, considerando os coeficientes de simetria e curtose entre -3 e 3. Valores de simetria e curtose fora da faixa de -3 e 3 representam grande desvio da distribuição normal, devendo-se assim desconsiderar a hipótese de normalidade (OLIVEIRA, 2010). Albiero (2010) menciona que valores de curtose positivos figuram distribuições de dados concentrados em torno da média, já valores negativos significam distribuições achatadas em relação à média. O autor relata também que valores positivos de simetria representam concentração de valores à direita da média, assim como valores de negativos representam concentração de valores à esquerda da média.

Confirmada a normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, onde as médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, quando significativas as médias.

A estatística dos dados foi gerada com o auxílio do *software* estatístico Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se o resumo da análise de variância com os valores obtidos pelo teste F, os coeficientes de variação (CV) e os valores de assimetria e curtose para as variáveis resposta Potência na Barra de Tração, Consumo Horário, Consumo Específico de combustível, Rendimento na barra de tração, Coeficiente de Tração e Patinação para os fatores Pneu (novo e desgastado), Velocidade de deslocamento (1,11; 1,39; 1,67; 2,36 e 2,78 m.s⁻¹) e a interação entre esses dois fatores são exibidos na tabela 5.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de assimetria e curtose para a combinação de cinco velocidades de deslocamento do trator e dois níveis de desgaste dos pneus em pista de concreto para os testes de Potência na Barra de Tração (PB), Consumo Horário (CH), Consumo Específico de combustível (CE), Rendimento da barra de tração (RB), Coeficiente de Tração (CT) e Patinação (Pat).

| Fontes de variação | Valor F | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CH | CE | PB | RB | CT | Pat |
| Pneu | 1,08 ^{NS} | 2,57 ^{NS} | 6,85* | 6,86* | 83,58** | 38,70** |
| Velocidade | 93,85** | 30,84** | 1552,48** | 1554,61** | 13,27** | 3,98** |
| Int. Pneu x Velocidade | 3,42* | 5,68** | 0,34 ^{NS} | 0,34 ^{NS} | 0,19 ^{NS} | 0,86 ^{NS} |
| CV (%) | 9,89 | 9,56 | 3,62 | 3,62 | 3,80 | 40,83 |
| Assimetria | 0,44 | 0,16 | 0,39 | 0,39 | -0,12 | 0,64 |
| Curtose | -0,32 | -0,67 | -1,21 | -1,21 | -0,60 | 0,13 |

** Significativo a 1% de probabilidade ($P \leq 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$);

^{NS} Não Significativo pelo teste F

Os valores de assimetria e curtose ficaram dentro dos limites de -3 e 3, o que significa que os valores estão dentro da distribuição normal, considerando assim a hipótese de normalidade. Constatou-se que o fator pneu obteve efeito não significativo no consumo de combustível, tanto para o consumo horário, como para o consumo específico, tendo significância nos demais ensaios, ou seja, o tipo de pneu não foi diferente significativamente no consumo de combustível. Para o fator

velocidade, todos os ensaios realizados obtiveram efeito significativo, nos mostrando que as diferentes velocidades interferem nas variáveis analisadas.

Verificou-se também que a interação entre os fatores pneu e velocidade foi significativa para os consumos horário e específico de combustível, já nas outras variáveis, a interação entre esses fatores não exerceu nenhum efeito significativo. O coeficiente de variação (CV), que é a variabilidade dos dados em relação à média, em todas as variáveis deram valores abaixo de 10%, o que indica a baixa dispersão dos dados, com exceção para a variável patinamento, que obteve um CV de 40,83%, considerado alto, significando a heterogeneidade destes dados, isso pode se explicar devido a cada classe de velocidade e tipo de pneu analisados, tiveram valores de patinamento diferentes dos demais, causando essa heterogeneidade.

4.1 Consumo Horário de combustível

O fator velocidade de deslocamento e a interação entre a velocidade e o pneu apresentaram valores significativos para o consumo horário de combustível, como são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios da interação entre a velocidade de deslocamento e o desgaste dos pneus do trator em pista de concreto, sobre o consumo horário de combustível (CH), em L.h⁻¹, sendo dois níveis de desgaste de pneus e cinco velocidades.

| Interação Velocidade x Pneu | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------|-------------------|
| Pneu | Velocidades | | | | | DMS ¹ |
| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | |
| Desgastado | 10,50 Aa | 12,12 Aab | 13,96 Ab | 17,28 Ac | 20,00 Ad | 1,90 ^C |
| Novo | 8,96 Aa | 12,46 Ab | 14,75 Abc | 16,77 Ac | 23,10 Bd | 2,69 ^L |

¹Diferença mínima significativa (DMS) da interação entre velocidade e pneu, sendo que médias seguidas de mesma letra nas linhas (^L) e nas colunas (^C) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pelo o que foi analisado para a interação da velocidade e pneu acima, os fatores relacionados ao consumo horário de combustível para o desdobramento de pneu dentro de cada velocidade, as quatro primeiras velocidades de deslocamento do trator em pista de concreto (1,11; 1,39; 1,67 e 2,36 m.s⁻¹) foram estatisticamente

iguais. Apenas na velocidade de $2,78 \text{ m.s}^{-1}$ (V5), é que houve diferença significativa para o pneu novo, onde o trator requereu uma maior quantidade de combustível para poder conservar a mesma velocidade, gerando assim, a potência necessária na barra de tração para tracionar o trator suporte em sistema de comboio, quando comparado ao pneu desgastado nessa mesma velocidade. Isso se dá devido ao pneu novo, por ter suas garras íntegras, acaba diminuindo sua superfície de contato com a pista de concreto, exigindo assim um maior consumo horário de combustível para atingir a velocidade desejada e mantê-la constante. Sem contar que nessa velocidade o trator atingiu sua reserva de torque para manter sua velocidade de operação, fazendo assim, aumentar o consumo de combustível.

Para o desdobramento de velocidade dentro de pneu, houve diferença estatística entre as velocidades utilizando o pneu desgastado, sendo a velocidade de $1,11 \text{ m.s}^{-1}$ (V1) a que obteve o menor consumo horário de combustível, seguido pela V2, que foi estatisticamente igual à V3, logo após V4 e V5, que foram diferentes, com os maiores consumos. Utilizando o pneu novo, o menor valor de consumo horário de combustível foi encontrado quando se utilizou a velocidade de $1,11 \text{ m.s}^{-1}$ (V1), acompanhado pela V2, em seguida a V3, que não teve diferença estatística da V4 e, por fim a V5, que obteve o maior consumo horário dentre todas as combinações.

De acordo com o observado, as menores velocidades de deslocamento do trator proporcionaram menores consumos horários de combustível, aliadas ao tipo de pneu, que em praticamente todas as velocidades proporcionaram o mesmo consumo ao trator. Logo, pode-se dizer que o menor consumo horário foi obtido na velocidade V1 ($1,11 \text{ m.s}^{-1}$), tanto no pneu novo, quanto no pneu desgastado sendo responsável por uma quantidade de combustível 47,5% para o pneu desgastado e 61,21% no pneu novo menor para tracionar o trator suporte, quando comparada à velocidade de $2,78 \text{ m.s}^{-1}$ (V5).

O consumo horário é uma informação de grande importância a ser utilizada como base dos cálculos de desempenho energético e operacional, já que é um critério rápido e prático de ser mensurado nos tratores agrícolas, servindo como um instrumento imprescindível para a realização do planejamento agrícola. Tais resultados mostram que o consumo horário de combustível apresenta valores mais elevados para condições de maior exigência de força de tração, tendo uma deficiência de informação que esse parâmetro apresenta sobre o desempenho energético real do trator, necessitando de quantificações mais precisas.

4.2 Consumo Específico de combustível

Semelhante ao consumo horário, os valores de velocidade de deslocamento do trator e a interação entre o fator velocidade e o desgaste do pneu apresentaram valores significativos no consumo específico de combustível, de acordo com os dados exibidos na tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios da interação entre a velocidade de deslocamento e o desgaste dos pneus do trator em pista de concreto, sobre o consumo específico de combustível (CE), em g.kWh^{-1} , sendo dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado) e cinco velocidades.

| Interação Velocidade x Pneu | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|--------------------|
| Pneu | Velocidades | | | | | DMS ¹ |
| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | |
| Desgastado | 468,14 Ba | 431,01 Aa | 338,65 Ab | 315,02 Ab | 276,69 Ab | 43,91 ^C |
| Novo | 369,70 Aab | 415,81 Aa | 348,88 Abc | 300,53 Ac | 316,95 Abc | 62,17 ^L |

¹Diferença mínima significativa (DMS) da interação entre velocidade e pneu, sendo que médias seguidas de mesma letra nas linhas (^L) e nas colunas (^C) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com o que foi observado, os fatores referentes ao consumo específico de combustível, na interação entre pneu e velocidade, o desdobramento de pneu dentro de velocidade mostrou que, para cada nível de velocidade, o grau de desgaste do pneu não exerceu influência no consumo específico de combustível, sendo estatisticamente iguais em todas as velocidades. A única exceção foi a velocidade de $1,11 \text{ m.s}^{-1}$ (V1), que o consumo específico foi diferente de acordo com o grau de desgaste do pneu, sendo o pneu desgastado o que obteve o consumo 21,03% maior, quando comparado com o pneu novo.

Os fatores relacionados ao consumo específico de combustível no desdobramento de velocidade dentro de pneu, o fator pneu desgastado teve diferença estatística entre as velocidades, sendo as duas menores velocidades (V1 e V2) as que tiveram o maior consumo específico de combustível, não diferindo estatisticamente entre si, e as três velocidades restantes também foram estatisticamente iguais, possuindo os menores valores de consumo específico, tendo

o pneu desgastado uma diferença de 21,43%, comparando a menor média que diferiu estatisticamente (V2) com a maior média de consumo entre as três velocidades.

Já no fator pneu novo, a velocidade que teve o maior consumo específico de combustível foi a V2 ($1,39 \text{ m.s}^{-1}$), seguido pela V1, que foi estatisticamente igual à V3, onde esta não diferiu de V5. A única velocidade que teve o valor médio de consumo específico que ficou isolado dos demais foi na velocidade de $2,36 \text{ m.s}^{-1}$ (V4), onde a mesma obteve o menor consumo específico, sendo 4,60% menor quando comparado à mesma velocidade, porém utilizando o pneu desgastado e 27,73% menor comparando utilizando-se o mesmo pneu, porém com a velocidade que obteve o maior consumo (V2). De acordo com Lyne *et al.* (1984), valores baixos de consumo específico de combustível representam a otimização simultânea entre o desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação implemento fonte de potência.

Pelo analisado, no caso do consumo específico de combustível, maiores velocidades proporcionaram menores consumos de combustível para os fatores pneu desgastado e pneu novo. Somente no fator pneu novo é que o padrão crescente de aumento de velocidade e redução de consumo específico não foi seguido como houve para o pneu desgastado. Nele, o menor valor de média de consumo foi para a velocidade de $2,36 \text{ m.s}^{-1}$ (V4). Isso nos mostra que, utilizando o pneu novo, menores velocidades provocam um consumo maior, mas à medida que se eleva a velocidade acima da ideal, esse consumo também vai aumentando. Isso pode ser justificado pelo fato de que quando se aumenta a velocidade para tracionar o trator suporte do comboio, o trator de tração perde aderência com a pista, por ter uma menor área de contato dos pneus com o solo, quando comparado aos pneus desgastados.

4.3 Potência na barra de tração

A interação entre os fatores pneu e velocidade não foi significativa para a variável potência na barra de tração, não necessitando realizar um desdobramento entre os fatores. Por isso, foi realizada a análise de variância dos fatores isoladamente, conforme são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 – Valores médios da potência exigida na barra de tração (PB), em KW, para os dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado) e cinco velocidades em pista de concreto.

| Variável | Velocidade | | | | | DMS ¹ |
|----------------|------------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | |
| PB (KW) | 19,21 a | 23,99 b | 34,49 c | 45,68 d | 59,94 e | 1,64 |
| | Desgastado | | Novo | | | |
| PB (KW) | 36,17 a | | 37,15 b | | 0,73 | |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Para a potência na barra de tração, observou-se que de acordo com que se aumentava a velocidade de deslocamento do trator, a força aplicada na barra de tração para puxar o trator suporte do comboio foi maior. Todas as velocidades tiveram potências diferentes estatisticamente entre si. Fazendo uma comparação, o trator se deslocando na maior velocidade avaliada, a de 2,78 m.s⁻¹ (V5), teve a potência na barra de tração 67,95% maior que a velocidade de 1,11 m.s⁻¹ (V1), que foi a menor avaliada. Isso pode ter ocorrido devido a superfície de concreto apresentar condição de tração homogênea, causando uma aderência dos rodados com a superfície de contato conforme se aumentava a velocidade, causando a interação pneu/pista estável.

Avaliando o resultado da análise de variância das médias para a potência na barra de tração de acordo com desgaste dos pneus, constatou-se que trator utilizando o pneus novos, teve sua potência na barra um pouco maior, tendo diferido estatisticamente dos pneus desgastados, sendo 2,64% maior em relação à potência na barra.

Associando esses dados, eles justificam o consumo horário de combustível se elevar de acordo com o aumento da velocidade, pois a tendência é que quanto menor a força utilizada na barra de tração do trator, menor será a diferença de consumo de combustível entre a superfície de rolamento, já que a exigência de tração demandada pelos rodados é menor, dessa forma, os fenômenos de contato e de fluxo

que ocorrem na zona de interface entre a superfície de contato e os dispositivos de tração tem seus efeitos reduzidos, corroborando com o mencionado por Shmulevich (2010).

4.4 Rendimento na barra de tração

Foi realizada a análise de variância dos fatores pneu e velocidade isoladamente para a variável de rendimento na barra de tração (TABELA 9), já que interação entre esses dois fatores não foi significativa, não necessitando de um desdobramento entre os fatores.

Tabela 9 – Valores médios do rendimento na barra de tração (RB), em %, para os dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado) e cinco velocidades em pista de concreto.

| Variável | Velocidade | | | | | DMS ¹ |
|---------------|------------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | |
| RB (%) | 21,76 a | 27,18 b | 39,08 c | 51,75 d | 67,92 e | 1,85 |
| | Desgastado | | Novo | | | |
| RB (%) | 40,98 a | | 42,10 b | | 0,83 | |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os resultados obtidos para o teste de rendimento na barra de tração do trator mantiveram a mesma tendência dos valores alcançados para a potência na barra de tração. Averiguando os dados da análise de variância, nota-se que à medida que se elevou a velocidade deslocamento do trator, as médias de rendimento na barra de tração aumentaram, sendo diferentes entre si para cada nível de velocidade. Esses resultados foram semelhantes com os obtidos por Monteiro (2011), em que operando um trator da marca New Holland em pista de concreto e utilizando a norma OECD-Code 2, na velocidade de 1,69 m.s⁻¹, valor próximo ao avaliado em V3, obteve valor de rendimento na barra de tração de 40,91%.

Para os resultados obtidos com os pneus, o rendimento na barra de tração também foi maior para o trator operando com pneus novos, tendo um rendimento 2,67% maior que utilizando os pneus desgastados. As garras mais elevadas dos pneus novos, apesar de terem uma área de contato menor com a superfície da pista, quando comparados aos pneus desgastados, que têm a altura de garra menor, não influenciaram no rendimento na barra de tração, resultando numa diferença mínima, porém significativa entre os pneus.

4.5 Coeficiente de tração

A interação dos fatores velocidade e pneu não foi significativa para a variável coeficiente de tração, não havendo necessidade assim em realizar um desdobramento entre os fatores. Em virtude disso, foi gerada a análise de variância dos fatores separadamente, como são mostradas na tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios do coeficiente de tração (CT), em %, para os dois níveis de desgaste de pneus (novo e desgastado) e cinco velocidades em pista de concreto.

| Variável | Velocidade | | | | | DMS ¹ |
|----------|------------|---------|----------|----------|---------|------------------|
| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | |
| CT (%) | 39,92 a | 42,85 b | 43,05 bc | 44,01 bc | 44,90 c | 1,99 |
| Pneu | | | | | | |
| | Desgastado | | Novo | | | |
| CT (%) | 40,84 a | | 45,05 b | | | 0,89 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os dados de médias da análise de variância referentes ao coeficiente de tração tiveram um comportamento semelhante aos outros testes relacionados à tração do trator. Os valores deram muito próximos, mas pôde-se notar que de acordo com que se aumentou a velocidade do trator, os valores do coeficiente de tração também aumentaram, sendo a V1 (1,11 m.s⁻¹) a que teve o menor coeficiente de tração, seguido pelas velocidades V2, V3 e V4 (1,39; 1,67 e 2,36 m.s⁻¹, respectivamente), que foram estatisticamente iguais. Por último a V5 (2,78 m.s⁻¹) que não diferiu

estatisticamente de V3 e V4, mas se isolou das demais com um coeficiente 4,57% maior que V2.

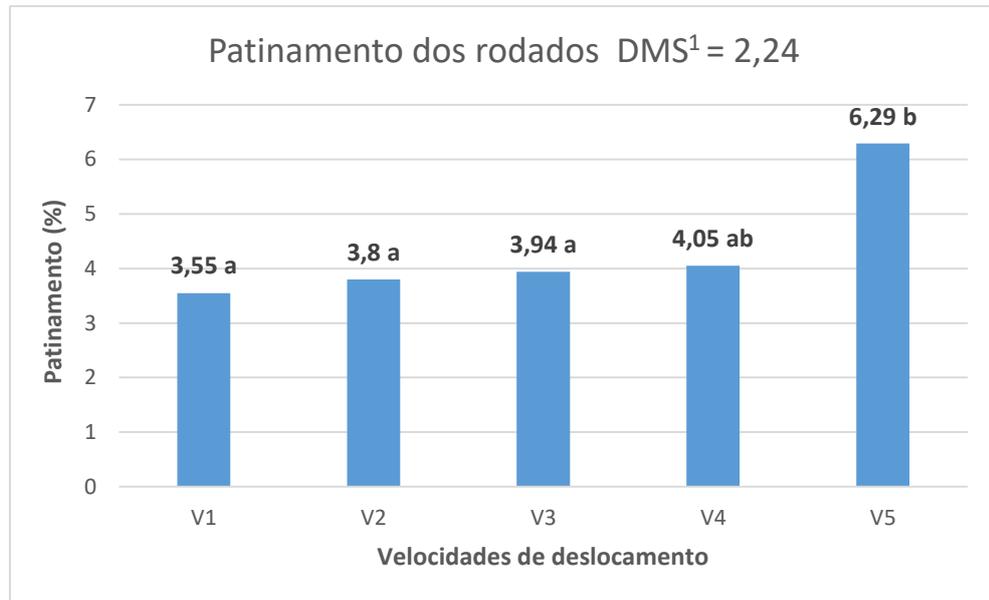
Da mesma forma se comportaram os dados de médias entre os tipos de pneus, onde o maior coeficiente de tração foi obtido com o trator utilizando os pneus novos, sendo 9,35% maior quando comparado aos pneus desgastados. Isso nos mostra que quanto maior o coeficiente de tração, maior a relação entre a força exercida na barra de tração e o peso do trator. Tal afirmação foi comprovada observando-se as maiores velocidades, utilizando o pneu novo, em que a potência na barra de tração foi maior.

Esses resultados validam o descrito por Yanai *et al* (1999), em que realizando ensaios de desempenho de tração de trator agrícola, expressaram a influência significativa da lastragem nos vários parâmetros de avaliação no trator, entre eles o coeficiente de tração, que aumentaram com a redução da carga sobre o rodado. Principalmente para o experimento em questão, em que o trator de tração foi utilizado sem nenhum lastro, líquido ou sólido, e seu coeficiente de tração aumentou de acordo com o aumento da velocidade.

4.6 Patinamento dos rodados do trator

A interação entre os fatores para a variável patinamento não foram significativos, devendo realizar a análise estatística dos fatores isoladamente. O gráfico com os resultados da análise de variância das médias do patinamento dos rodados traseiros para as diferentes velocidades são apresentados abaixo (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Valores médios do patinamento, em %, para as cinco velocidades em pista de concreto.

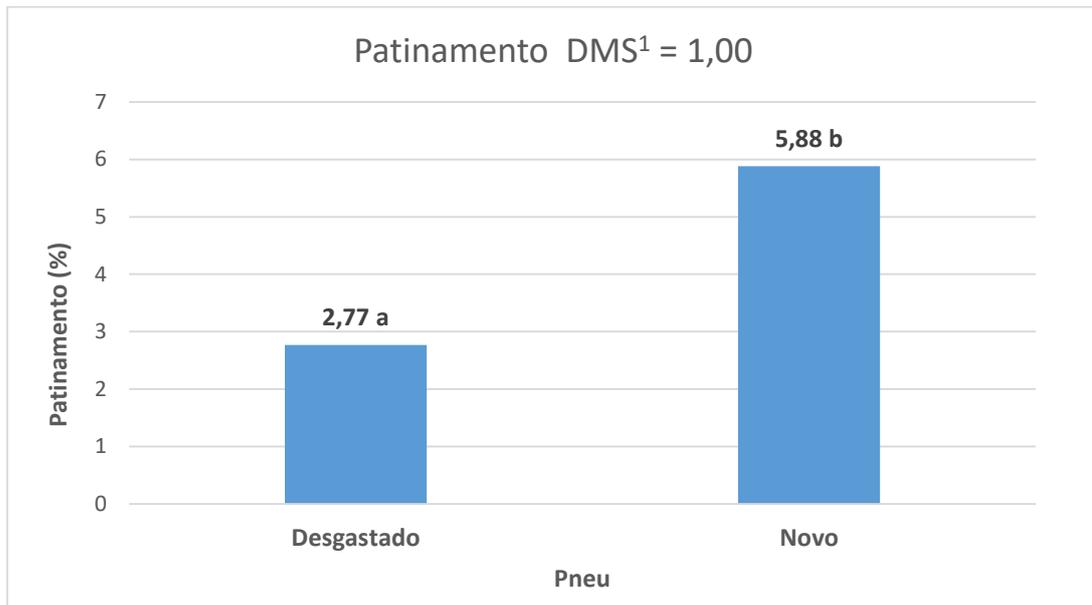


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Como pôde-se verificar, o patinamento aumentou de acordo com o acréscimo de velocidade do trator. As velocidades de deslocamento V1, V2 e V3 (1,11; 1,39; 1,67 m.s⁻¹, respectivamente) foram estatisticamente iguais e também não atingiram a faixa aceitável de patinamento em superfície de concreto, que segundo a ASABE (1997b), descreve que para obtenção de máxima eficiência de tração, o patinamento esteja dentro dos limites de 4 a 8%. Em virtude disso, tais resultados podem justificar os baixos valores relacionados à tração nas menores velocidades avaliadas.

O gráfico com os resultados da análise de variância para a avaliação das médias dos pneus em função do patinamento dos rodados traseiros são apresentados no gráfico 2.

Gráfico 2 – Valores médios do patinamento, em %, para os dois tipos de pneu do trator em pista de concreto.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias de cada tipo de desgaste do pneu e velocidades de deslocamento.

Os resultados do teste nos mostram que o pneu novo teve um patinamento dentro dos limites recomendados (de 4 a 8%), nos mostrando que o pneu nesse estado de desgaste, proporciona um patinamento baixo nas velocidades testadas, possivelmente devido à maior área de contato do pneu com a pista, fazendo ter uma maior aderência dos pneus com a superfície. Isso pode ser justificado pelo alto CV obtido nesse teste. Apesar da interação entre as velocidades e os pneus não ter sido significativa, observou-se que os valores absolutos de patinamento para os pneus desgastados aumentaram conforme o aumento da velocidade, fazendo os valores de patinamento ficarem próximo do recomendado em pista de concreto.

5 CONCLUSÃO

O pneu que obteve esses melhores resultados de eficiência energética e tração foi o jogo de pneus novos, sendo este conjunto o mais indicado a se utilizar.

O trator avaliado obteve uma maior eficiência no consumo de combustível e os maiores valores de potência, rendimento na barra, coeficiente de tração e patinamento quando se deslocou nas velocidades de 2,36 e 2,78 m.s⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, R. R. D., MANTOVANI, E. C., MARTYN, P. J., BERTAUX, S. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência tratorria de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer e Luth e por ensaios de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: n. 4, v. 30, p. 523 - 530. 1995.
- ALBIERO, D. **Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar**. 2010. 244 f. Tese (Dourado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010.
- ALLIS-CHALMERS, **The history of Allis-Chalmers**. Disponível em: http://www.allischalmerslawn.com/about_us/. Acesso em: 15 maio 2018.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **A Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices**. SAE S296.4 DEC95. In: ASABE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 119-121p. 1999.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**. ASABE D 497.4. In: ASABE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 359- 366p. 1999.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management** ASABE EP496.2. In: ASABE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASABE, 1997a. p. 357–362.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural tractor test code SAE J708**. In: ASABE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASABE, 1997b. p. 407–411.
- AREND, L.; FORCELLINI, F. A.; WEISS, A. Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 801-808, 2005.
- ASSOCIAÇÃO LATINO AMERICANA DOS FABRICANTES DE PNEUS, AROS E RODAS (ALAPA). **Manual de normas técnicas**. São Paulo, 2013. 40p.
- BARBOSA, J. A.; Luciano, B. V.; Gutemberg, P. D.; Moacir, S. J. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, ago. 2005.
- BERNARDES, R. C. e BALASTREIRE, L. A. Determinação das curvas de iso-consumo de combustível com trator operando sobre solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/UFPEL, 1999. CD-Rom

BRIXIUS W.W. **Traction prediction equation for bias ply tires**. St. Joseph, Michigan: ASABE. 1987 (ASABE Paper, 83-1067).

CORDEIRO M.A.L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. Botucatu, UNESP-FCA, 2000. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia - AC Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CORRÊA, I. M. ; YANAI, Kiyoshi ; MAZIERO, José Valdemar Gonzalez ; LANÇAS, K. P. . Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 179-184, 1999.

CORRÊA, I. M. Conheça o pneu agrícola que você usa. **Revista Unesp Rural**, Jaboticabal, v. 18, p. 21, 1999.

CORRÊA, I. M. **Desempenho operacional de pneus radiais e diagonais em função da pressão de inflação, da condição de superfície do solo e da condição de acionamento da tração dianteira**. 2000. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

DISERENS, E. Calculating the contact area of trailer tyres in the field. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p. 302-309, 2009.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...45a **Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258.

FIORESE, D. A. **Desempenho em dinamômetro e emissões residuais de um motor de trator agrícola operando com misturas binárias de óleo diesel b5 e biodiesel de óleo de frango**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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, set/dez. 2004.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 463-514.

GILL, W. R., VANDEN BERG, G. E. Soil Dynamics in Tillage and Traction. **Washington: U. S. Govt.** Printing Office, 1968. 590 p.

GU, Y., KUSHWARA, R. L. Dynamic load distribution and tractive performance of a model tractor. **Journal of Terramechanics**, v. 31, nº 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. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

HORN, R.; VOSSBRINK, J.; BECKER, S. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. **Soil & tillage research**, v. 79, p.207-219, 2004.

JENANE, C., BASHFORD, L. L., MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. (1996) Ed. 64 p. 131 – 138.

LANÇAS, K. P. **Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas**. Botucatu, 1998. 171 p. Tese de Livre Docência - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP-Botucatu.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. **Energia na Agricultura**, Boletim Técnico nº 1.FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p.

LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUINO, P. R.; MONTEIRO, L. A. Altura não é documento. **Cultivar Máquinas**, n. 97, p. 14-17, 2010.

LANÇAS, K. P.; MONTEIRO, L. A.; GUERRA, S. P. S.; GABRIEL FILHO, A.; MARASCA, I, Efeito da pressão de inflação dos pneus no desempenho operacional de um trator agrícola. In: **X Congresso Argentino de Ingeniería Rural y II Del MERCOSUR**. Actas... Rosario: UNR Editora, 2009. p. 763-768. CD-ROM.

LEVIEN, R., GAMERO, C.A. Semeadura de milho em diferentes preparos e condições de cobertura do solo: primeiro ano de implantação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 82-97, 2000.

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

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. P. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p. 366- 370, 2005.

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

MANTOVANI, E.C., LEPLATOIS, M., INAMASSU, R.I. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-1246, 1999.

MÁRQUEZ, L. Especial pneus agrícolas. **AgriWorld**, Madrid, ESP, n. 1, p 2-6, out. / nov. 2010.

MÁRQUEZ, L. Tractores agrícolas: Tecnología y utilización. 1. Ed. Madrid: **B&H Editores**, 2011. 843 p.

MASIERO, F. C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4X2 TDA)**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

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**, Botucatu, vol. 26, n.4, p.55-73, 2011.

MIALHE, L. G. Maquinas Agrícola – Ensaio & Certificação. **Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz**, 1996, 723 p.

MIALHE, L. G. Máquinas Motoras na Agricultura. **São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo**, v. 2, 1980. 366 p.

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

MICHELIN, **The Michelin Company**. Disponível em: <http://www.michelin.com/corporate/EN/group/history>. Acesso em: 15 maio 2018.

MICHELIN: **Decifrar a marcação de seus pneus**. Disponível em: <https://agricola.michelin.com.br/br/Utilize-corretamente-seus-pneus/Decifrar-a-marcao-de-seus-pneus>. Acesso em: 16 maio 2018.

MOLIN, J. P., Araújo, J. C., Zambuzzi, P. C., Pereira, F. J. S. Ensaio de características dimensionais, ponderais e de desempenho na barra de tração de um quadriciclo 4x2 TDA. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 278-287, 2002.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D. Segurança na operação com máquinas agrícolas. Fortaleza: **Imprensa Universitária da UFC**, 2013. 124 p.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma oecd – code 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista concreto e solo agrícola**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, 2011, p.85. (Tese de Doutorado).

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. 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, n. 1, p. 68-84, 2009.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

NEBRASKA ANTIQUE FARMING. **The history**. Disponível em: <http://www.antiquefarming.org>. Acesso em: 15 maio 2018.

NOKIAN TIRES. **Heavy tyres technical manual**. Forestry Tyres. 2018. 395p.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **CODE 2 - OECD STANDARD CODE FOR THE OFFICIAL TESTING OF AGRICULTURAL AND FORESTRY TRACTOR PERFORMANCE**. 101 p. Fevereiro, 2018

OLIVEIRA, J. U. C. de. Estatística: Uma nova abordagem. Rio de Janeiro. **Editores Ciência**, 2010.

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

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciências e Agrotecnologia**. v. 33, n.3, p. 870-874, 2009.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BÓRMIO, M. F. Conforto térmico: Uma avaliação em tratores agrícolas sem cabines. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Bauru, SP. 2004,

SANTOS, P. I. B. **Método dos elementos finitos para determinação da área de contato, entre um rodado e uma superfície deformável**. 2003. 203f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção. **Santa Maria: UFSM**, 2001.

SHMULEVICH, I. State of the art modeling of soil–tillage interaction using discrete element method. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 41–53, 2010.

SILVA, S. L., RICIERI, R. P., PEREIRA, J. O., BENEZ, S.H. Sistemas de aquisição de dados para ensaios de campo: comparação da força de tração média obtida com micrologger 21x e milivoltímetro na operação de escarificação. In: **IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**, 6, Chillán. Anales...Chillán: 2001.

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. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 10, p. 10-18, 1997.

SILVA, S.L., BENEZ, S.H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Campina grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. CD-ROM.

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

SRIVASTAVA, A.K., GOERING, C.E., ROHRBACH, R.P. Tractor hitching, traction and testing. In: _____ engineering principles of agricultural machines. 3 ed. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, p.117-145, 1996.

TRELLEBORG. **Agricultural tyres manual**. 2002. 20p.

WISMER, R.D. e LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Transactions of the ASABE**, v.17, n.1, p. 8-14, 1974.

YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; 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**, Brasília, DF, v. 34, n. 8, p. 1427-1434, ago, 1999.

YONG, R. N. **Track-soil interaction**. J. Terramech., v. 21, p. 133-52, 1984.

ZOZ, F. Belt and Tire Tractive Performance. **Milwaukee: Society of Automotive Engineers**, 1997, 8p.

ZOZ, F. M., R. L. TURNER, L. R. SHELL. Power delivery efficiency: A valid measure of belt and tire tractor performance. **Transactions of the ASABE**, v.45, p.509-518. 2002.

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

**APÊNDICE A – VALORES DE FORÇA NA BARRA DE TRAÇÃO DO TRATOR EM
DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E COM PNEU NOVO E
DESGASTADO EM PISTA DE CONCRETO**

| Força na Barra de Tração (N) | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------------|
| | Pneu Novo | Pneu Desgastado |
| Vel1R1 | 17675 | 16921 |
| Vel1R2 | 17601 | 15927 |
| Vel1R3 | 18254 | 16700 |
| Vel1R4 | 18942 | 15748 |
| Vel1R5 | 18942 | 15748 |
| Vel2R1 | 19479 | 18030 |
| Vel2R2 | 19887 | 17487 |
| Vel2R3 | 19556 | 17919 |
| Vel2R4 | 18948 | 17428 |
| Vel2R5 | 18948 | 17428 |
| Vel3R1 | 20130 | 19149 |
| Vel3R2 | 20149 | 18054 |
| Vel3R3 | 19794 | 19332 |
| Vel3R4 | 20845 | 17834 |
| Vel3R5 | 20845 | 17834 |
| Vel4R1 | 20112 | 18910 |
| Vel4R2 | 18564 | 17199 |
| Vel4R3 | 18585 | 18373 |
| Vel4R4 | 19815 | 17293 |
| Vel4R5 | 19815 | 17293 |
| Vel5R1 | 19163 | 19015 |
| Vel5R2 | 20529 | 17172 |
| Vel5R3 | 18446 | 19163 |
| Vel5R4 | 20774 | 17535 |
| Vel5R5 | 20774 | 17535 |

Onde:

Vel1 = 1,11 m.s⁻¹; Vel2 = 1,39 m.s⁻¹; Vel3 = 1,67 m.s⁻¹; Vel4 = 2,36 m.s⁻¹ e Vel5 = 2,78 m.s⁻¹