

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM
TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA
LASTRAGEM, PRESSÃO DE INSUFLAGEM E
DA VIDA ÚTIL DO PNEU**

ROGER TOSCAN SPAGNOLO

2010

ROGER TOSCAN SPAGNOLO

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM
FUNÇÃO DA LASTRAGEM, PRESSÃO DE INSUFLAGEM E DA VIDA
ÚTIL DO PNEU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Spagnolo, Roger Toscan.

Desempenho operacional de um trator agrícola em função da
lastragem, pressão de insuflagem e vida útil do pneu / Roger Toscan
Spagnolo. – Lavras : UFLA, 2010.

55 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Bibliografia.

1. Consumo de combustível. 2. Força de tração. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.372

ROGER TOSCAN SPAGNOLO

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM
FUNÇÃO DA LASTRAGEM, PRESSÃO DE INSUFLAGEM E DA VIDA
ÚTIL DO PNEU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2010.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato UFLA

Prof. Dr. Jackson Antônio Barbosa UFLA

Prof. Dr. Gabriel José de Carvalho UFLA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A minha avó Dirce Rosa de Nardi Toscan, pelo exemplo de vida e alegria.
Aos meus pais, Moacir Antônio Spagnolo e Arlete Maria Toscan Spagnolo, pelo
incentivo, educação e ensinamentos recebidos.

Ao meu irmão, Renan Toscan Spagnolo, pelo carinho e amizade.

A minha namorada Lílian Moura de Lima pelo amor, compreensão e estímulo.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Carlos Eduardo Silva Volpato, pela orientação na realização deste trabalho.

Ao Professor Jackson Antônio Barbosa, pela valiosa co-orientação na realização deste trabalho.

Ao professor, colega e amigo Tomás de Aquino Ferreira, pela amizade, disponibilidade e flexibilidade dos horários para os preciosos ensinamentos.

Aos professores do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, pelos ensinamentos recebidos.

Aos amigos Diego José Carvalho Alonço, Marcos Antônio Zambillo Palma, Rodrigo Alencar Nunes pela valiosa contribuição na realização deste trabalho, pela amizade e convivência durante a realização do curso.

Aos colegas Carlos Augusto Pereira de Figueiredo, Lidiane do Amaral Vilas Boas, Rogner Carvalho, pela amizade e convivência durante minha passagem por Lavras-MG.

Aos amigos Lessandro Coll Faria e Luiz Fernando P. B. Costa, pela amizade e convivência em todos os momentos.

Aos amigos Eder Pedroza Isquierdo, Juliano dos Santos e Samuel Beskow, pela amizade e companheirismo.

Aos funcionários Adão, Isidoro, “Preto” e “Tião” do Departamento de Máquinas da UFLA; a Daniela, secretária do Departamento de Engenharia da UFLA, pelos serviços prestados.

Aos amigos Álvaro Carlos Gonçalves Neto, Emmanuel T. Alves, Ewerton Felipe do Prado Machado, Henrique Fonseca Elias de Oliveira, José Romário Fernandes de Melo, Lucas Vasconcelos Panissa, Moisés Santiago Ribeiro, e Ricardo Coelho de Faria, pela amizade e convivência harmoniosa durante minha passagem por Lavras - MG.

A todos meus familiares e amigos, que mesmo a distância, de alguma forma contribuíram para concretização deste projeto.

A Deus, por sempre me acompanhar.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Tração e rodados.....	3
2.2 Influência das garras no desempenho de pneumáticos	5
2.3 Influência da pressão de insuflagem e lastragem no desempenho dos pneumáticos	7
2.4 Patinagem dos rodados	11
2.5 Consumo de Combustível.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Localização.....	16
3.2 Tratores	16
3.2.1 Pneus.....	17
3.2.2 Pressão de insuflagem.....	18
3.2.3 Lastragem	18
3.3 Patinagem	19
3.4 Força na barra de tração.....	19
3.5 Potência na barra de tração	22
3.6 Coeficiente de tração	22
3.7 Consumo de combustível volumétrico.....	23
3.8 Consumo de combustível específico.....	24
3.9 Propriedades mecânicas do solo	25
3.9.1 Textura.....	25

3.9.2 Teor de água no solo.....	25
3.9.3 Cobertura do solo.....	26
3.9.4 Resistência à penetração	26
3.10 Delineamento experimental	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Patinagem	28
4.2 Força na barra de tração.....	31
4.3 Potência na barra de tração	35
4.4 Coeficiente de tração	39
4.5 Consumo horário de combustível	43
4.6 Consumo específico de combustível.....	46
5 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1 Níveis de pressão de insuflagem empregados aos pneus durante a realização dos ensaios de campo.	18
TABELA 2 Níveis de lastragem empregados ao trator motriz durante a realização dos ensaios de campo.	19
TABELA 3 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a patinagem (%).	28
TABELA 4 Interação entre pneu e lastragem para a patinagem (%).	29
TABELA 5 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneus novos para a patinagem (%)	30
TABELA 6 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneus desgastados para a patinagem (%).	31
TABELA 7 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a força na barra de tração (kN).	32
TABELA 8 Interação entre pneu e lastragem para a força na barra de tração (kN).	33
TABELA 9 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para a força na barra de tração (kN).	34
TABELA 10 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastados para a força na barra de tração (kN).	34
TABELA 11 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a potência na barra de tração (kW).	36
TABELA 12 Interação entre pneu e lastragem para a potência na barra de tração (kW).	36

TABELA 13	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para a potência na barra de tração (kW). ...	37
TABELA 14	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para a potência na barra de tração (kW).....	38
TABELA 15	Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o coeficiente de tração.	40
TABELA 16	Interação entre pneu e lastragem para o coeficiente de tração.	41
TABELA 17	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o coeficiente de tração.	41
TABELA 18	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o coeficiente de tração.....	42
TABELA 19	Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).	44
TABELA 20	Interação entre pneu e lastragem para o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).	44
TABELA 21	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).....	45
TABELA 22	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).	46
TABELA 23	Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o consumo específico de combustível ($g kWh^{-1}$).	47
TABELA 24	Interação entre pneu e lastragem para o consumo específico de combustível ($g kWh^{-1}$).	48

TABELA 25	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o consumo específico de combustível (g kWh^{-1}).....	48
TABELA 26	Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o consumo específico de combustível (g.kWh^{-1}).	49

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Comboio utilizado na realização dos ensaios.....	17
FIGURA 2 Célula de carga para quantificação da força atuante na barra de tração.	20
FIGURA 3 Calibração da célula de carga através da máquina de ensaio universal.....	21
FIGURA 4 Curva de calibração da célula de carga.	21
FIGURA 5 Fluxômetro utilizado para quantificação do consumo de combustível.....	24
FIGURA 6 Coleta de dados através do penetrômetro eletrônico para avaliação da resistência do solo à penetração.	27
FIGURA 7 Comparação dos índices de patinação do pneu novo e do pneu desgastado.....	31
FIGURA 8 Comparação dos resultados de força na barra de tração do pneu novo e do pneu desgastado.	35
FIGURA 9 Comparação dos resultados de potência na barra de tração do pneu novo e do pneu desgastado.	39
FIGURA 10 Comparação dos resultados do coeficiente de tração do pneu novo e do pneu desgastado.	43
FIGURA 11 Comparação dos resultados do consumo horário de combustível do pneu novo e do pneu desgastado.	46
FIGURA 12 Comparação dos resultados do consumo específico de combustível do pneu novo e do pneu desgastado.....	50

RESUMO

SPAGNOLO, Roger Toscan. **Desempenho operacional de um trator agrícola em função da lastragem, pressão de insuflagem e da vida útil do pneu.** 2010. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Máquinas e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O trator agrícola é uma máquina autopropelida que contém rodados, os quais estabelecem a interface máquina-solo cujas principais funções são as de lhe oferecer apoio, sustentação, direcionamento e auto-locomoção, além de serem responsáveis por gerar esforço de tração. Entre as diferentes características dos pneus que afetam o desempenho operacional do trator, estão a pressão de insuflagem, carga normal sobre as rodas motrizes e as condições de desgaste das garras. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de um trator agrícola operando com pneus novos e desgastados em três condições de lastragem e três pressões de inflagem dos pneus. O experimento foi realizado na unidade experimental pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, apresentando o solo uma umidade média de 25,69% e 14,97 T ha⁻¹ de matéria seca no momento da realização dos testes. Utilizou-se um trator 4x2 TDA, com potência de 65,62 kW (88 CV) no motor. Os pneus utilizados foram do tipo R1, com as seguintes características: diagonal (dianteiros: 12,4-24; traseiros: 18,4-30), sendo que a altura média das garras dos pneus novos foi de 30 e 35 mm para os pneus dianteiros e traseiros respectivamente e nos pneus velhos, as garras mediram 18 e 4,5 mm, respectivamente. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3x3, com 18 tratamentos e 3 repetições. Os resultados para os parâmetros estudados, força e potência na barra de tração, coeficiente de tração e consumo de combustível evidenciaram vantagens para o trator quando equipado com pneus novos. A patinação foi maior quando foram usados pneus novos, devido ao aumento da força e potência na barra de tração. Além de menor consumo de combustível, diferentes níveis de lastragem e pressão de insuflagem favorecem o desenvolvimento de maior força e potência na barra de tração quando pneus novos ou desgastados são usados.

Comitê Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato – UFLA (Orientador), Jackson Antônio Barbosa – UFLA

ABSTRACT

SPAGNOLO, Roger Toscan. **Operational Performance of an agricultural tractor depending upon the tire shelf life ballasting, and inflation pressure.** 2010. 55p. Dissertation (Master of Science in Agricultural Engineering/ Machinery and Automation) – Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Mounted on a wheeled chassis, the agricultural tractor is a self-propelled vehicle which wheels main functions is to offer support tractors, support, guidance and self-locomotion, in addition to being responsible for generating tractive effort. Among the different characteristics of the tires that affect the operational performance of the tractor are the inflation pressure, normal load on the drive wheels and the conditions of wear claws. This study aimed to evaluate the operational performance of operating an agricultural tractor with new tires and worn in conditions of weights and three inflation pressures of tires. The experiment was conducted at the experimental unit of the Department of Animal Science, Federal University of Lavras, with soil moisture an average of 25.69% and 14.97 t ha⁻¹ dry matter at the time of testing. We used a tractor 4x2 TDA, with an output of 65.62 kW (88 HP) engine. The tires were of the type R1, with the following features: diagonal (front: 12,4-24 rear: 18,4-30), and the average height of the clutches of the new tire was 30 and 35 mm for front and rear tires respectively, while the old tires claws 18 and measured 4.5 mm, respectively. The experimental design was randomized blocks arranged in a 2x3x3 factorial arrangement, with 18 treatments and 3 replications. The results for the different parameters, strength and power in the drawbar, coefficient of traction and fuel consumption showed advantages for the tractor equipped with new tires. The slip was greater when used new tires due to increased strength and power in the drawbar. When using new or worn tires, different levels of weights and inflation pressure are more favorable to the development of greater strength and power at the drawbar, and lower fuel consumption.

Guidance Committee: Carlos Eduardo Silva Volpato – UFLA (Major Professor),
Jackson Antônio Barbosa – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, o consumo de alimentos tem sido proporcional ao crescimento da população mundial. Este fato tem implicações sociais e econômicas que transformam em tarefa indispensável a geração e utilização de tecnologias produtivas eficazes – particularmente em relação ao maior aproveitamento dos recursos fósseis, aos menores custos possíveis.

Dentre as tecnologias que favorecem o cumprimento desta tarefa, está a mecanização agrícola que constitui um instrumento fundamental para a utilização intensiva da terra, aumentando e sustentando o rendimento das culturas e da produção pecuária.

Nesse contexto, o trator agrícola é considerado a principal fonte de potência na agricultura, utilizado em conjunto com diversos equipamentos e na realização de várias tarefas, dentre as quais o preparo do solo, a semeadura e o transporte. Seus rodados formam a interface máquina-solo e têm como principais funções oferecer apoio, sustentação, direcionamento e auto-locomoção, além de serem responsáveis pela geração de esforço de tração.

Os rodados influenciam nos resultados de desempenho operacional do trator em relação ao tipo de construção, pressão de inflação, carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e do seu desgaste.

Ao se utilizar uma pressão de inflação e a capacidade de carga (lastro) adequadas, pode-se obter um rendimento maior e um prolongamento da vida útil do pneu, além disso, minimizam-se os problemas de perda de tração, aumento de patinação e consumo de combustível, bem como minimizam-se os problemas de compactação do solo.

Qualquer melhoria em relação ao desempenho operacional dos tratores agrícolas contribuirá diretamente para a eficiência da produção agrícola e para a conservação de energia de origem fóssil. Diante do exposto, o trabalho foi

realizado com o objetivo avaliar o desempenho de um trator agrícola utilizando pneus novos e desgastados, com diferentes níveis de pressão de insuflagem e lastragem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tração e rodados

O trator agrícola é selecionado pela potência disponível no motor e pela capacidade de suportar esforços oriundos dos mais diversos equipamentos necessários para a realizações de várias tarefas agrícolas.

A capacidade de tração e o fornecimento de potência suficiente para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura dependem, em parte, do tipo de dispositivo de tração. Nos casos em que estes dispositivos são pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflagem, a carga aplicada sobre o eixo motriz e a transferência de peso, entre outros fatores interferem na capacidade de tração do trator (Zoz & Grisso, 2003).

De acordo com a American Society Of Agricultural Enginners - ASAE S296. 4 (1999), a tração pode ser definida como a força exercida na mesma direção e sentido do deslocamento, produzida por um trator à barra de tração. O desempenho na barra de tração de um trator depende, primariamente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo (American Society Of Agricultural Enginners - ASAE D497. 4, 1999). A eficiência no uso dessa força é limitada pela ação dos dispositivos de tração, que nos tratores agrícolas, geralmente, são rodas pneumáticas (Srivastava et al., 1996).

Barger et al. (1963) definem dois parâmetros importantes que avaliam força e potência. O primeiro, rendimento de potência de tração, também denominada eficiência tratória por outros autores. Trata-se de uma relação entre potência na barra de tração e a potência de entrada na árvore de transmissão final. O segundo, coeficiente de tração, ou razão dinâmica de tração, que é a relação entre a tração na barra e a carga dinâmica sobre o rodado motriz.

A eficiência tratória operacional envolve mais do que maximizar a força na barra de tração. Envolve também consumo de combustível e eficiência trativa. Duas importantes regulagens que o agricultor pode fazer no trator para melhorar estes parâmetros são: ajustar corretamente a lastragem e a pressão de insuflagem dos pneus (Charles, 1984). O mesmo autor menciona que, além do desempenho global dos pneus e da tração operacional, outros parâmetros -- tais como o desgaste e a durabilidade dos pneus -- devem ser analisados.

Corrêa (1993) comparou o desempenho entre rodados de construção radial e diagonal de um trator com tração dianteira auxiliar e patinagem entre 0 e 30%, em duas condições de superfície, uma contendo restos da cultura de milho recentemente roçados e na outra uma superfície vegetada. Nesta última, foram encontradas as melhores condições de tração (força na barra, potência na barra e coeficiente de tração) para os pneus de construção radial. Neste estudo, o autor avaliou a potência na barra de tração, que tende a aumentar conforme a patinagem até atingir um nível máximo de potência, posteriormente diminuindo à medida em que aumenta a patinagem. O resultado desta avaliação foi o de que no solo com restos da cultura de milho, a máxima potência na barra foi de 21,62 kW com 25% de patinagem, para um jogo de pneus radiais. Já para um solo vegetado, a potência máxima na barra de tração foi de 26,60 kW com índice patinagem de 15%.

Gabriel Filho et al. (2004) analisaram o desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal (aveia, ervilhaca, nabo, aveia e nabo e sem cobertura) e concluíram que a patinagem foi maior onde a massa de matéria seca era maior, porém este fato não influenciou a potência requerida na barra de tração. Obteve-se melhor eficiência de tração nas parcelas sem cobertura. Comparado à área sem cobertura, verificaram que o coeficiente de tração foi maior nos tratamentos com cobertura de aveia, ervilhaca e nabo. Dessa forma, os autores concluíram que a cobertura do solo

interfere na capacidade que o trator tem de desenvolver esforço para tracionar máquinas e implementos, sendo que o tipo de cobertura pode causar mudanças na patinação e na eficiência trativa.

2.2 Influência das garras no desempenho de pneumáticos

Entre outros fatores, o desgaste da banda de rodagem dos pneus resulta do deslizamento entre a superfície dos pneus e do terreno e quanto maior o deslizamento, maior é o desgaste e este por sua vez é maior na parte das garras do pneu que toca primeiro no solo (Barbosa, 1998).

Ao comparar o desgaste da banda de rodagem dos pneus em pista pavimentada e em solo agrícola, Lopes (1996) utilizou três níveis de deslizamento 15, 30 e 45% e observou um desgaste respectivo de 0,12; 0,39 e 1,37 mm.km⁻¹ para pista pavimentada, enquanto para solo agrícola, o desgaste foi de 0,0028, 0,0049, 0,0081 mm.km⁻¹. Observou-se um desgaste extremo dos pneus utilizados em pistas pavimentadas, comprovando a recomendação dos fabricantes de pneus agrícolas de não utilizá-los nestas pistas.

Franz (1988) avaliou o desempenho de pneumáticos para tratores agrícolas com diferentes níveis de desgaste. Em seu experimento, o autor utilizou três pneus de construção diagonal, com altura das garras de 11, 21 e 33 mm, duas marchas para variar a velocidade de avanço do trator e cinco níveis de patinação entre 10 e 50%. Os resultados demonstraram que a potência na barra de tração aumenta até os níveis de 20% a 30% de patinação, quando atinge seus maiores valores e posteriormente tende a diminuir à medida em que aumenta a patinação, apresentando maiores valores quando utilizados pneus com maior altura das garras (33 mm).

Miranda et al. (2000) avaliaram o desempenho operacional de um trator na subsolagem de um inceptisol. Para estes autores, a utilização de pneus novos

resultou em desempenho superior do trator para os parâmetros estudados em relação ao uso de pneus desgastados com altura média das garras 37% menor. Observaram também uma redução na patinagem de 14,2% dos pneus traseiros novos em relação aos desgastados, devido a uma maior aderência, o que ocasionou maior velocidade de deslocamento e uma economia de 2,2 L (6,9%) no consumo de combustível por hectare. A combinação entre pneus novos e rotação do motor de 1800rpm promoveu uma redução de 26,9% na patinagem. Assim para Miranda et al. (2000), a utilização de uma rotação de 1800rpm combinada ao uso de pneus desgastados, reduziu a patinagem em 19,2% quando comparado à rotação de 2000 rpm.

Jesuino (2007) comparou o desempenho de um trator equipado com pneus diagonais novos e desgastados em três condições de superfície: pista com solo mobilizado, pista com cobertura vegetal e pista com solo firme. Em função do desgaste dos pneus dianteiros (63,4%) e dos pneus traseiros (41,2%), o resultado da velocidade média na pista com solo mobilizado foi maior que a velocidade média do pneu desgastado para o pneu novo, pois a patinagem do rodado dianteiro e traseiro com pneus desgastados foi maior. Na pista com cobertura vegetal, os pneus desgastados apresentaram valores 3,32% maiores para a velocidade, 8,45% menores para o consumo horário de combustível e 1,80% maiores para a potência disponível na barra de tração. Na pista com solo firme, os resultados para os pneus desgastados foram 3,65% maior para a velocidade, 38,65% menor para a patinagem dos rodados dianteiros, 23,22% menor para a patinagem dos rodados traseiros, 12,73% menor para o consumo de horário de combustível e 3,60% maior para a potência disponível na barra de tração.

Os resultados deste estudo possibilitaram concluir que em pistas com cobertura vegetal e solo firme, os pneus desgastados tiveram um desempenho melhor que os pneus novos. Isto pode ser justificado pelo fato de os pneus

desgastados apresentarem um maior contato com a superfície de rodagem, em função da forma construtiva (conicidade) da garra ao longo de sua altura, ou em função da maior facilidade de penetração das garras na cobertura vegetal, permitindo um contato do corpo do pneu (fundo das garras) com essa superfície, aumentando sensivelmente a real área de contato pneu/superfície, o que pode não ter ocorrido com os pneus novos em função da maior altura das garras. Esses resultados ultimaram que a colocação de pneus novos em um trator nem sempre é garantia de um melhor desempenho operacional do conjunto moto-mecanizado (Jesuino, 2007).

2.3 Influência da pressão de insuflagem e lastragem no desempenho dos pneumáticos

A pressão de inflagem -- também chamada de pressão interna -- deve ser ajustada em função das variações da carga aplicada sobre o pneu. Considera-se carga aplicada sobre o rodado, o peso próprio do veículo, tendo em vista a distribuição de pesos entre os eixos, a adição de lastro, o suporte de máquinas e acessórios. (Reis et al., 2002).

A pressão de inflagem incorreta é o fator que mais contribui para o desenvolvimento de avarias e desgaste prematuro dos pneus agrícolas. A sobrecarga -- peso além do especificado para cada pneu -- e a pressão de inflação abaixo da recomendada ocasionam uma flexão maior das laterais, fazendo com que a banda de rodagem tenha um desgaste prematuro e não uniforme, podendo ocorrer também rachaduras na parte superior da parede lateral do pneu ou torção das paredes, gerando um deslizamento do pneu sobre o aro, com a conseqüente quebra da válvula e dilaceração da câmara de ar. O oposto, a pressão acima da indicada, provoca flexão deficiente da banda de rodagem, ocasionando um aumento no desgaste na faixa central do pneu. Além

disso, a área de contato do pneu com o solo diminui, ocorrendo perda na tração, aumento de patinação e consumo de combustível (Siveira, 1988).

Ao trabalhar com lastro constante de 26,6 kN sobre cada rodado do trator e 5 diferentes pressões de insuflagem dos pneus, variando de 83 a 193 kPa, Charles (1984) concluiu que, quanto menor a pressão de insuflagem, maior é a força na barra de tração. Quando utilizada pressão constante de 138 kPa nos pneus traseiro do trator e três níveis de carga vertical (lastagem) de 23,9, 26,6 e 29,3 kN, o autor observou que o aumento da lastragem proporcionou um acréscimo de força na barra de tração.

O acréscimo de força na barra de tração pode ser explicado pelo aumento da área de contato do pneu com o solo. Mazetto et al. (2005) avaliaram a área de contato de três diferentes modelos de rodados, pneu de baixa pressão e alta flutuação (500/60-26.5), inflado com as pressões 206,7 kPa, 103,3 kPa e 68,9 kPa; pneu radial (19.9R26), com pressão de insuflagem de 186,1 kPa, 137,8 kPa e 68,9 kPa e pneu diagonal (14.9-26), com pressão de insuflagem de 206,7kPa, 137,8 kPa e 68,9kPa; submetidos a cargas de 5, 10, 15 e 20 kN. Sob essas condições, estes autores observaram que a elevação das cargas sobre os rodados causaram um aumento das áreas de contato independentemente do tipo de rodado pneumático a ser utilizado. Quando utilizado pneu diagonal além do aumento da carga, a diminuição da pressão de insuflagem dos pneus ocasionou aumento da área de contato pneu-solo.

Bashford et al. (1993) testaram dois pneus radiais (18.4R42 e 18.4R46) com três pressões de insuflagem (55, 83 e 124 kPa), em duas condições de solo (lavrado sobre restos vegetais) e verificaram que o rendimento de tração foi semelhante entre as pressões inferiores, sendo menor na pressão mais elevada, o que os levou a concluir que as baixas pressões tendem a melhorar as características de tração.

A utilização de elevadas pressões de insuflagem dos pneus conduz a uma redução da ordem de 3 a 5% na capacidade de trabalho e um aumento significativo entre 10 e 25% do consumo de combustível por hectare, mesmo em condições de boa aderência dos pneus, refletidas no intervalo de 7 a 15% de patinamento registrados (Serrano, 2008).

Yanai et al. (1999) utilizaram um trator com tração dianteira auxiliar, pneus diagonais em testes realizados em condição de campo com solo não mobilizado, aplicando quatro quantidades distintas de carga sobre os rodados (51,28; 48,47; 45,69; 43,01 kN), e quatro níveis de pressão nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente (193-165; 165-138; 138-110 e 110-83 kPa). Os resultados possibilitaram concluir que a diminuição da lastragem total de 51,28 kN para 43,01 kN causou um aumento de 14,5% na patinagem e 15% no coeficiente de tração. O uso da tração dianteira auxiliar influencia significativa e positivamente a patinagem, que reduziu de 12,02% para 8,44%, a velocidade de deslocamento aumentou de 4,73 km.h⁻¹ para 4,93 km.h⁻¹ e a potência na barra aumentou de 16,10 kW para 16,61 kW, sendo a tração simples mais eficiente apenas para o desenvolvimento de maior coeficiente de tração 0,383 contra 0,259 quando acionada a tração dianteira auxiliar. A interação entre pressão de inflagem e carga sobre o rodado indicou que determinadas combinações desses dois fatores (51,28 kN; 138-110 kPa) e (48,47 kN; 138-110 kPa) favoreceram o desenvolvimento de menor patinagem. Já para a velocidade, os melhores valores foram encontrados nas combinações (51,28 kN; 138-110 kPa) e (51,28 kN; 165-138 kPa), enquanto os melhores índices de coeficientes de tração foram obtidos com a menor lastragem (43,01 kN), particularmente nas combinações (43,01 kN; 193-165 kPa) e (43,01 kN; 110-83 kPa).

Ferreira et al.(2000b) estudaram o efeito da pressão interna dos pneus em diferentes condições de superfície, na força de tração e na barra de um trator 4x2 com pneus agrícolas de tração diagonais. Estes autores concluíram que, para

a condição de solo solto, a maior força de tração ocorre com as maiores pressões internas dos pneus (193 kPa), independente da carga a ser tracionada pelo trator. Por outro lado, em uma condição de solo firme, o trator traciona grandes cargas com baixa pressão nos pneus, aumentando a sua capacidade de tração e quando puxa cargas menores (3,72 a 10,13 kN), a capacidade de tração não varia com a mudança de pressão interna dos pneus.

Monteiro et al. (2009) avaliaram a capacidade trativa de um trator para desenvolver força de tração ao tracionar carga de 25 kN em um solo firme com cobertura vegetal, utilizando dois tipos de pneus (Radial e Diagonal), em três condições de lastragem e três velocidades de deslocamento do trator. Os autores concluíram que, ao utilizar pneus diagonais sem água ou com preenchimento de até 37,5% do volume com água, os valores de patinagem foram superiores com relação à utilização dos mesmos pneus com preenchimento de 75% do seu volume com água. Quanto à velocidade de deslocamento e potência na barra de tração, os pneus diagonais e radiais não apresentaram diferença significativa diante dos diferentes níveis de lastragem utilizados.

A pressão de insuflagem e lastragem não influenciam somente o desempenho dos pneumáticos, mas também as características do solo, podendo causar um aumento da compactação e procedente diminuição na produtividade da cultura implantada em tal solo.

Nagaoka et al. (2003) avaliaram a resistência do solo à penetração antes e depois do tráfego do trator, sendo estes submetido a diferentes cargas sobre os rodados diagonais e radiais. Os autores concluíram que o acréscimo de carga sobre os rodados causou variação da compactação do solo e que o tráfego de tratores aumenta a compactação, sendo esta mais pronunciada quando utilizados pneus diagonais, relativamente aos radiais, uma vez que os pneus diagonais apresentam maior pressão de insuflagem. Machado et al. (2005) avaliaram a influência de três diferentes valores de pressão de inflagem do pneu do trator, 55

kPa (abaixo da recomendação do fabricante dos pneus), 125 kPa (recomendada pelo fabricante dos pneus) e pressão de inflação de 165 kPa (acima da recomendação do fabricante dos pneus) na resistência do solo à penetração. Segundo estes autores, maiores pressões de inflação dos pneus provocaram menores áreas de contato entre o solo e o pneu e, conseqüentemente, maior pressão deste sobre o solo. A região do solo que sofreu maiores adensamentos fica na faixa de 0,10 m a 0,30 m de profundidade.

Outro fator importante quanto ao ajuste da pressão de insuflagem e lastragem é a estabilidade do trator quanto aos “saltos”. Wiley & Turner (2008) concluíram que é fundamental o ajuste da pressão de insuflagem e lastragem para minimizar estes “saltos”, bem como melhorar as condições de tração do trator. Os autores salientam a necessidade de que, num futuro próximo, o operador possa fazer ajustes na pressão de insuflagem e na suspensão dianteira a bordo, a fim de melhorar a ergonomia do tratorista.

2.4 Patinagem dos rodados

Serrano et al. (2003) comentam que a interação adequada da pressão de insuflagem e lastragem deve refletir valores de patinagem dentro de um intervalo aceitável, normalmente de 5 a 15%. Os autores salientam que o enchimento dos pneus é um processo simples, no entanto, pouco utilizado pelos agricultores, que tendem a optar por pressões relativamente elevadas, independentemente do tipo de utilização de trator e que são justificadas como forma de preservação da vida útil do pneu. Segundo Siveira (1988), este fato é verdade, pois a pressão acima da indicada provoca flexão deficiente da banda de rodagem, ocasionando um aumento no desgaste na faixa central do pneu

Charles (1984) observou que a força na barra de tração tende a aumentar até níveis de 25% de patinagem, após os quais, tende a permanecer constante.

Em solo duro, a faixa ótima de patinagem é de 8 a 10%. Em solo firme e macio (já cultivado), varia de 10 a 13% e em solo arenoso ou solto varia de 13 a 16% (Corrêa, 2003).

Todavia, o índice de 20% de patinagem é utilizado por alguns autores (Gee-Clough et al., 1977; Dwyer & Febo, 1987; Wulfsohn et al., 1988) para expressar o coeficiente líquido de tração, quando o objetivo é comparar o desempenho de pneus em campo.

Corrêa (1993) comparou o desempenho entre rodados de construção radial e diagonal de um trator com tração dianteira auxiliar, com patinagem entre 0 a 30%, em duas condições de superfícies, uma contendo restos da cultura de milho recentemente roçados e outra superfície vegetada. O autor encontrou melhores características de tração (força na barra, potência na barra e coeficiente de tração) para os pneus de construção radial. A potência na barra de tração tende a aumentar conforme a patinagem, até atingir um nível máximo de potência na barra, que posteriormente diminui com o aumento da patinagem. No solo com restos da cultura de milho, a máxima potência na barra foi de 21,62 kW com 25% de patinagem, para um jogo de pneus radiais. Já para um solo vegetado, a potência máxima na barra de tração foi de 26,60 kW, com índice patinagem de 15%.

Com o objetivo de conhecer as pressões insuflagem mais adequadas nos pneus motrizes do trator, proporcionando os menores índices de patinagem, Ferreira (2000a) concluiu que o acréscimo de pressão nos pneus ocasionou aumento da patinagem quando o trator tracionou cargas na barra de tração equivalente a 13,18 kN. O mesmo autor ainda completa que a pressão insuflagem de 110 kPa nos pneus traseiros proporcionou menores índices de patinagem 9,21% e 24,59% para cargas de 9,11 e 13,18 kN respectivamente na barra de tração do trator.

2.5 Consumo de Combustível

Lopes et al. (2003) avaliaram o consumo de combustível de um trator agrícola, 4x2 TDA, variando o tipo de pneu (radial, diagonal e baixa pressão), combinando duas condições de lastragem do trator (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento. Eles ultimaram que a lastragem com água (75% do volume dos pneus) ofereceu menor consumo específico de combustível, sendo que este teve tendência de aumento com o acréscimo de velocidade do trator, independentemente do fato de o pneu apresentar lastro ou não. Em se tratando de consumo específico, os fatores (pneu, lastragem e velocidade) não interagiram entre si.

O consumo horário e específico de combustível não apresentou variação significativa diante das três condições de lastro líquido dos pneus diagonais (0% de água, 37% de água e 75% de água) utilizados por Monteiro (2008) em pista de solo com cobertura vegetal. No entanto, em pista de solo mobilizado, o trator com 75% de água nos pneus diagonais apresentou menor consumo específico de combustível em relação às demais condições de lastragem. Os autor completa que, a condição de solo firme sem cobertura vegetal foi a que apresentou os menores valores de consumo de combustível, pois a mobilização do solo diminuiu a capacidade do trator em desenvolver a tração, uma vez que o solo desagregado não ofereceu a mesma resistência se comparado ao mesmo tipo de solo onde não houve a desagregação das partículas.

Ao executar operação de gradagem em solo mobilizado, Serrano et al. (2003) descreve que a utilização de pneus sem lastro líquido e com lastros adicionais na parte frontal do trator ocasionou uma redução de 11% no consumo de combustível por hectare, comparados à utilização de pneus preenchido com 75% de seu volume com água e presença de lastros adicionais na parte frontal.

Analisando o consumo horário de combustível, Corrêa (1993) constatou que houve um aumento conforme o acréscimo dos índices de patinagem. No

entanto, o mesmo não mostrou diferenças significativas entre as duas coberturas de solo. Porém, houve um aumento percentual máximo de 6,5% no consumo de combustível, quando usado o jogo de pneus radiais, o que pode ser explicado pelo desenvolvimento de maior potência na barra. Os pneus radiais apresentam maior força de tração na barra, que aumenta com o acréscimo da patinagem na faixa de 0 a 30%. Estes pneus também demonstraram um melhor aproveitamento do peso do trator em força de tração, principalmente em índices de patinagem abaixo de 15%.

Na comparação do desempenho operacional de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais, Barbosa et al. (2005) observaram que a utilização desses pneus proporcionou um aumento de 18,53% de potência na barra e um consumo específico de combustível 23,39% menor com relação a utilização de pneus diagonais. No entanto, quando pneus diagonais foram utilizados, os autores destacam uma diminuição de 27,07% no consumo específico de combustível quando os níveis de patinagem aumentaram de 10% para 30%.

Segundo Franz (1988), o consumo específico de combustível com níveis de 10% de patinagem foi alto devido aos menores valores de potência na barra de tração e consumo horário de combustível equivalente aos valores encontrados a 20% de patinagem quando ocorreu o menor consumo específico de combustível. Níveis acima de 30% de patinagem acarretam acréscimos significativos no consumo de combustível. Ocorrem valores mínimos de consumo específico de combustível onde acontecem valores máximos de potência na barra de tração.

Menores valores de consumo de combustível, quando utilizados pneus novos, com maior altura da garra foram observados por Franz (1988) e Miranda (2000). Enquanto Jesuino (2007) encontrou menores valores de consumo de combustível, quando utilizados pneus novos somente em pista de solo

mobilizado. Em pista com cobertura vegetal e em pista de solo firme os pneus diagonais desgastados apresentaram valores 8,45% e 12,73% menores para o consumo horário de combustível respectivamente, quando comparados ao uso de pneus diagonais novos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

Os ensaios foram realizados na unidade experimental pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Lavras, MG, compreendido entre as coordenadas 21^o13'50'' latitude sul e 44^o57'52'' longitude oeste, a 917 m de altitude.

O solo denominado como Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso (LVdf), com declividade longitudinal de 4,98%. A área vinha sendo utilizada com pastagem de braquiária havia mais de 8 anos, com lotação média de duas unidades animais por hectare, apresentando uma condição de superfície de solo agrícola firme, sem preparo e com cobertura vegetal, que fora roçada antes da execução do experimento.

O experimento foi conduzido em 54 parcelas com área individual de 90m² (30 x 3 m) e, entre as parcelas, na direção longitudinal, deixou-se um intervalo de 15 m para a realização de manobras e o trânsito de máquinas.

3.2 Tratores

Para a realização dos ensaios de campo foi utilizado um trator motriz marca Valtra, modelo BL 88, 4X2 com tração dianteira auxiliar (TDA), 65,62 kW (88 CV) de potência nominal no motor, operando em segunda marcha reduzida a uma rotação de 1750 rpm. A massa total deste foi de 33,56 kN, sem lastro, com distribuição de 38% no eixo dianteiro e 62% no eixo traseiro. Durante todo o período de ensaio, o trator permaneceu com o bloqueio do diferencial acionado.

Para obtenção do esforço de tração e patinagem foi utilizado um trator de frenagem, da marca Massey Ferguson, modelo 290, 4X2 com tração

dianteira auxiliar (TDA) acionada, com 63,38 kW (85 CV) de potência nominal no motor, operando em segunda marcha reduzida a uma rotação de 1750 rpm no motor. A massa total deste trator foi de 38,25 kN. O comboio de ensaio utilizado pode ser visto na Figura 1.



FIGURA 1 Comboio utilizado na realização dos ensaios.

3.2.1 Pneus

Foram utilizados dois jogos de pneus diagonais no trator motriz, um considerado novo e outro desgastado. Os pneus novos utilizados no eixo traseiro foram Goodyear 18,4-30R1, capacidade de carga de 19,12 kN, garras com 0,035 m de altura, no eixo dianteiro pneus Fate 12,4-24R1, capacidade de carga de 12,60 kN, garras com 0,030 m de altura.

Quanto ao jogo de pneus desgastados no eixo traseiro, utilizou-se pneus Pirelli 18,4-30R1, capacidade de carga de 19,12 kN, garras com 0,0048 m de altura média e no eixo dianteiro pneus Firestone 12,4-24R1, capacidade de carga de 11,76 kN, garras com 0,018 m de altura média.

3.2.2 Pressão de insuflagem

Os três níveis de pressões de inflagem utilizadas nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente, conforme verifica-se na Tabela 1.

TABELA 1 Níveis de pressão de insuflagem empregados aos pneus durante a realização dos ensaios de campo.

Pressão	Pressão nos Pneus Traseiros	Pressão nos Pneus Dianteiros
P1	180 kPa	165 kPa
P2	138 kPa	125 kPa
P3	110 kPa	83 kPa

3.2.3 Lastragem

O trabalho foi conduzido com o trator operando em três condições de lastragem: lastragem 1 (L1): pneus com lastro de água, ocupando 75% do volume e com lastros metálicos, lastragem 2 (L2): pneus com lastro de água ocupando 75% de volume e sem lastro metálico e lastragem 3 (L3): pneus sem lastro de água e sem lastro metálico.

Os elementos metálicos correspondiam a seis elos frontais e dois anéis laterais acoplados no centro do rodado traseiro, a massa de cada elemento metálico foi 0,34 kN e 0,64 kN, respectivamente. O peso total do trator, em condição estática, diante dos três diferentes níveis de lastragem empregados ao trator motriz pode ser visto na Tabela 2, bem como a sua equivalência diante do peso total do trator lastrado.

TABELA 2 Níveis de lastragem empregados ao trator motriz durante a realização dos ensaios de campo.

Lastagem	Designação	Peso do Trator (kN)	Peso do Trator (%)
L1	Pneus com lastro de água e metálico	45,24	100%
L2	Pneus com lastro de água e sem lastro metálico	41,87	92,55%
L3	Pneus sem lastro de água e metálicos	33,56	74,18%

3.3 Patinagem

A patinagem foi medida a partir da observação do tempo que o trator motriz leva para se deslocar em cada parcela, antes e após a aplicação do carregamento no trator freio. A diferença entre tempos caracterizou a patinagem do trator motriz quando da aplicação do carregamento. Seu cálculo foi procedido conforme a equação a seguir:

$$P_{(\%) } = \frac{(t_0 - t_1)}{t_0} \times 100 \quad (1)$$

em que:

t_0 = tempo para percorrer 30 metros, sem carga (s);

t_1 = tempo para percorrer 30 metros, com carga (s).

3.4 Força na barra de tração

A quantificação da força na barra de tração foi possível com o auxílio de uma célula de carga, que ficou posicionada entre a barra de tração do trator motriz e a parte dianteira do trator de freio. A célula de carga foi interligada ao sistema de aquisição de dados (spider), que recebia os sinais em mV registrando-os e armazenando-os com o auxílio de um microcomputador portátil (Figura 2).

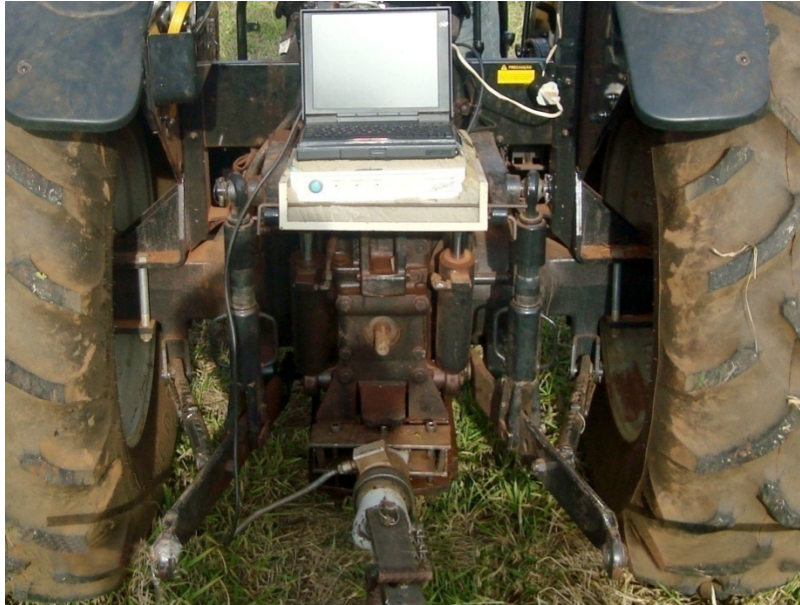


FIGURA 2 Célula de carga para quantificação da força atuante na barra de tração.

O dados foram armazenados no microcomputador em mV e, posteriormente, transformados em kN. Para tanto, se fez necessário a calibração da célula de carga. Utilizou-se uma máquina de ensaio universal a fim de gerar a curva de calibração, conforme pode ser visto nas Figuras 3 e 4.



FIGURA 3 Calibração da célula de carga através da máquina de ensaio universal.

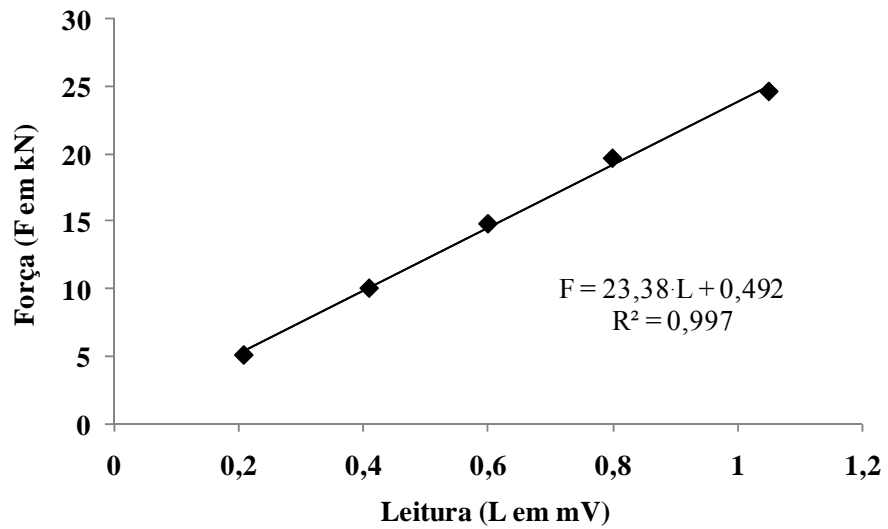


FIGURA 4 Curva de calibração da célula de carga.

3.5 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi calculada em função da força exercida na barra e a velocidade de deslocamento do trator, conforme a equação a seguir:

$$P_b = F_t \cdot v \quad (2)$$

em que:

P_b = potência na barra de tração (kW);

F_t = força na barra de tração (kN);

v = velocidade de deslocamento do trator motriz ($m\ s^{-1}$).

3.6 Coeficiente de tração

O coeficiente de tração é a relação entre a força de tração na barra e a carga dinâmica atuante sobre os rodados de tração e representa quanto de peso do trator é transformado em força na barra de tração. É uma medida da eficiência do sistema rodado-solo em relação ao acréscimo de pesos adicionais (lastro) ao eixo de tração.

O coeficiente de tração é dado pela equação:

$$k_t = \frac{F_t}{W_d} \quad (3)$$

em que:

k_t = coeficiente de tração;

F_t = força de tração na barra (kN);

W_d = carga dinâmica sobre o rodado (kN).

3.7 Consumo de combustível volumétrico

O consumo de combustível foi medido por meio de um fluxômetro eletromecânico (Figura 5) através de pulsos elétricos que foram transformados em ml seg^{-1} pelo fluxômetro digital.

Os retornos dos bicos injetores, filtros, bomba alimentadora e bomba injetora foram desviados para não retornar combustível ao tanque e evitar a passagem do combustível duas vezes pelo fluxômetro eletromecânico.

O display do fluxômetro foi programado para registrar os impulsos a cada 0,3 segundos. Os dados foram filmados e, posteriormente, com auxílio de planilha Excel, foram convertidos em litros por hora, em função do consumo registrado pelo fluxômetro, da densidade do óleo diesel ($0,86 \text{ g L}^{-1}$), conforme a equação a seguir:

$$\text{Ch} = \frac{\left(\frac{\text{C}}{\delta}\right)}{3600} \quad (4)$$

em que:

Ch= consumo horário médio de combustível (L h^{-1});

C= consumo de combustível médio registrado nas parcelas, (mg s^{-1});

δ = densidade do óleo diesel, (mg L^{-1}).

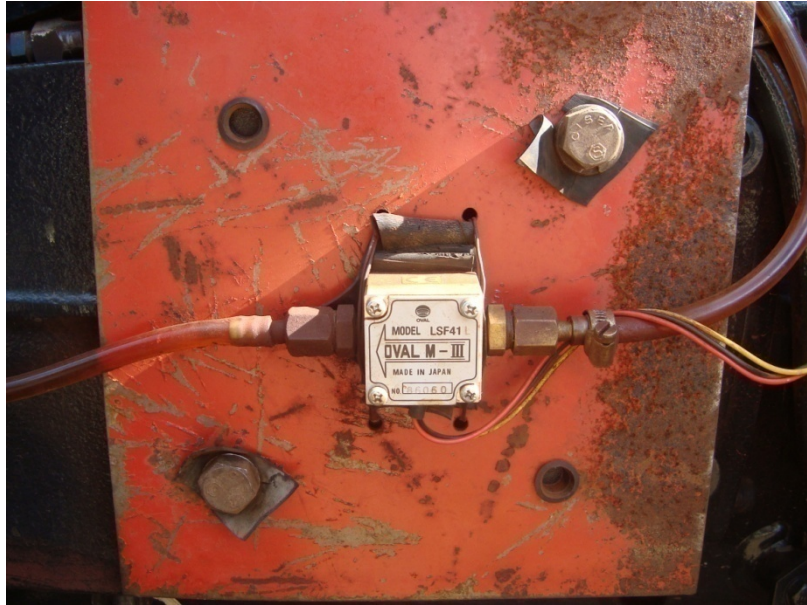


FIGURA 5 Fluxômetro utilizado para quantificação do consumo de combustível.

3.8 Consumo de combustível específico

Para expressar o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração foi utilizada a seguinte equação:

$$C_{ec} = \frac{Ch \cdot \delta}{P_b} \quad (5)$$

em que:

C_{ec} = consumo específico (g kW h^{-1});

δ = densidade do combustível em função da temperatura (g L^{-1});

Ch = consumo horário com base em volume (L h^{-1});

P_b = potência na barra de tração (kW).

3.9 Propriedades mecânicas do solo

O conhecimento dos atributos físicos do solo é de fundamental importância na análise da interação máquina-solo. Para tanto, foram coletadas e analisadas amostras de solo da área de trabalho. Foram analisadas as seguintes propriedades do solo:

3.9.1 Textura

A textura do solo é estudada pela análise granulométrica, que permite classificar os componentes sólidos em classes, de acordo com seus diâmetros. Para uma mesma classe, há um limite superior e um inferior de acordo com a escala adotada. Portanto, a textura do solo é expressa unicamente pelas classes de tamanho de partículas dentro de determinadas amplitudes de variação e englobando material com diferentes composições e características. As partículas de solo são assim denominadas: areia, silte e argila.

Para a determinação da granulometria do solo, foram coletadas amostras de solo na área destinada aos ensaios de forma aleatória, as quais foram enviadas posteriormente ao Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Lavras para que fossem analisadas.

3.9.2 Teor de água no solo

Coletou-se uma amostra de solo por parcela trabalhada, a uma profundidade de 0,15 m, através de um trado, a fim de determinar o teor de umidade no solo pelo método gravimétrico padrão, secando-se o solo em estufa elétrica, regulada à temperatura de 105°C, até atingir uma massa constante. Para calcular o teor de água no solo, foi utilizada a seguinte equação:

$$U = \left(\frac{MSU - MSS}{MSS} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

em que:

U = teor de água no solo (%);

MSU = massa de solo úmida (g);

MSS = massa de solo seca (g).

3.9.3 Cobertura do solo

Foram realizadas coletas da cobertura vegetal, a fim de quantificar a matéria seca. De forma aleatória, foram coletadas 9 amostras de 1 m², secadas em estufa a 75 °C, ou até atingirem massa constante para assim, obter-se a quantidade de matéria seca por metro quadrado e conseqüentemente por hectare.

3.9.4 Resistência à penetração

A avaliação da resistência à penetração do solo foi realizada com o auxílio de um penetrômetro eletrônico (Figura 6). Os ensaios de resistência à penetração foram realizados até a profundidade de 0,15 m, sendo tomados um ponto de amostragem em cada parcela antes da passagem do trator, perfazendo um total de 54 ensaios em toda a área.



FIGURA 6 Coleta de dados através do penetrômetro eletrônico para avaliação da resistência do solo à penetração.

3.10 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em 54 parcelas casualizadas, com esquema fatorial $2 \times 3 \times 3$, totalizando 18 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram formados pelas combinações de dois tipos de pneus (novos e desgastados), três pressões de insuflagem (Tabela 1) e três condições de lastragem (Tabela 2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Departamento de Solos da UFLA, os resultados da análise granulométrica na camada de 0 a 30 cm apresentaram os valores médios de 0,16, 0,18 e 0,66 kg kg⁻¹ para areia, silte e argila, respectivamente.

O índice de cone, que possibilita caracterizar a resistência à penetração média da área até a profundidade de 0,15 m foi de 2092,6 kPa, apresentando o solo uma umidade média de 25,69% e 14,97 T ha⁻¹ de matéria seca no momento da realização dos testes.

Os resultados seguintes estão apresentados em tabelas dentro de tópicos, descritos conforme a interação entre os fatores estudados e a seqüência de procedimentos adotados no desenvolvimento desse trabalho.

4.1 Patinagem

Os valores da patinagem dos rodados do trator, nas duas condições de desgaste dos pneus, nos três níveis de pressão de insuflagem e nas três condições de lastragem, estão apresentados nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

TABELA 3 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a patinagem (%).

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	18,35 aB	22,38 aA	19,55 aAB
Desgastado	14,44 bA	12,37 bAB	9,01 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3, observa-se, que houve uma diferença significativa entre os fatores pneu e pressão de insuflagem, ao se comparar a patinagem com maior valor atribuído aos pneus novos, que apresentaram maiores índices de patinagem (22,38%), com pressão de insuflagem intermediária 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente.

No pneu desgastado, a patinagem demonstra uma tendência de aumento conforme o acréscimo de pressão, este fato pode ter ocorrido em função da diminuição da área de contato pneu/solo. De acordo com Silveira (1988), a utilização de altas pressões de insuflagem provoca flexão deficiente da banda de rodagem, acarretando uma diminuição da área de contato do pneu com o solo, ocasionando perda na tração, além do aumento de patinagem e consumo de combustível.

Segundo Ferreira (2000a), o acréscimo de pressão nos pneus ocasionou aumento da patinagem quando o trator tracionou cargas na barra de tração equivalente a 13,18 kN. O mesmo autor ainda conclui que a pressão interna de 110 kPa nos pneus traseiros proporcionou menores índices de patinamento para cargas de 9,11 e 13,18 kN na barra de tração do trator.

Os fatores pneu e lastragem (Tabela 4) também demonstraram diferença significativa no que se refere à patinagem, com maior representatividade quando utilizados pneus novos sem lastro de água e sem lastro metálico, corroborando Monteiro et al. (2009), cujos resultados em pneus diagonais sem água ou com preenchimento de até 37,5% do volume com água e em condições de solo com cobertura vegetal, encontrou valores de patinagem superiores em relação à utilização de pneus com preenchimento de 75% do seu volume com água.

O índice de patinagem para os pneus desgastados não apresentou variação significativa diante dos diferentes níveis de lastragem empregados.

TABELA 4 Interação entre pneu e lastragem para a patinagem (%).

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	17,39 aB	18,09 aB	24,81 aA
Desgastado	11,93 bA	13,17 bA	10,72 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 5 e 6 e Figura7, estão representados o desdobramento da interação entre os fatores pressão de insuflagem e lastragem para a patinagem, quando pneus novos e velhos foram utilizados.

Na Tabelas 5, pode-se observar que, sob a combinação (L3P2) de 33,56 kN de carga sobre o rodado e pressão de insuflagem de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente, o uso de pneus novos tendeu a apresentar maior patinagem. Os menores índices de patinagem para os pneus novos foram encontrados nas combinações L1P1, L1P3, L2P1 e L3P3.

TABELA 5 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneus novos para a patinagem (%)

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	16,34 aB	14,89 aB	23,83 aA
138 / 125 kPa	19,51 aA	21,35 aA	26,29 aA
110 / 83 kPa	16,31 aB	18,02 aAB	24,32 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Utilizando-se pneus desgastados, os menores índices de patinagem foram encontrados nas diferentes condições de lastragem, combinando com a menor pressão de insuflagem (Tabela 6). Este resultado assemelha-se ao encontrado por Yanai et al. (1999). Estes autores afirmaram que determinadas combinações entre pressão de inflação e carga sobre o rodado favoreceram o desenvolvimento de menor patinagem.

TABELA 6 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneus desgastados para a patinagem (%)

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	14,18 aA	15,20 aA	13,93 aA
138 / 125 kPa	12,56 aA	14,30 aA	10,22 aA
110 / 83 kPa	9,02 aA	10,01 aA	8,01 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

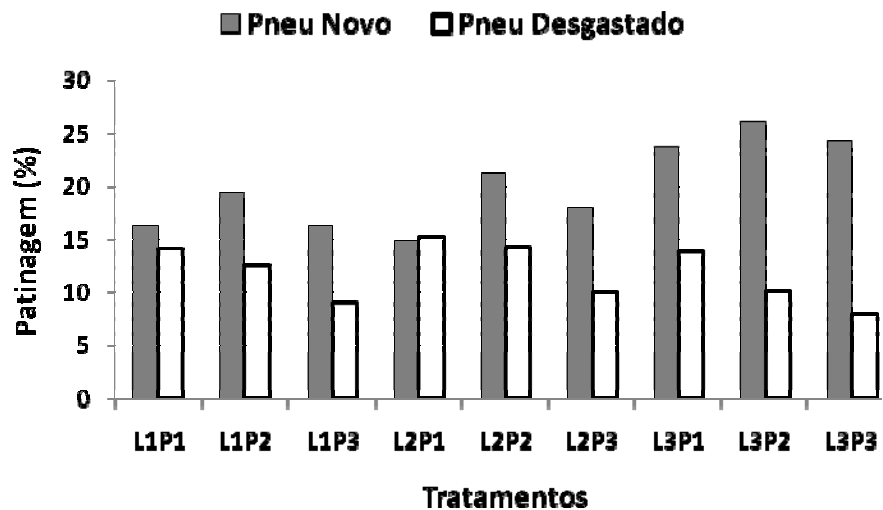


FIGURA 7 Comparação dos índices de patinagem do pneu novo e do pneu desgastado.

4.2 Força na barra de tração

Os valores de força na barra de tração, nas duas condições de desgaste dos pneus, nos três níveis de pressão de insuflagem e nas três condições de lastragem, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8.

TABELA 7 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a força na barra de tração (kN).

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	17,96 aB	21,15 aA	19,63 aAB
Desgastado	17,17 aA	16,01 bAB	14,35 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Embora o comportamento da força na barra de tração em relação à variação da pressão interna no pneu novo não seguiu uma tendência linear, pode-se notar que a utilização de menores índices de pressão de insuflagem (P3) e pressão intermediária (P2) ocasionou maior desenvolvimento de força na barra de tração. Este resultado está de acordo com o encontrado por Charles (1984), que achou maiores valores de força na barra de tração ao utilizar menores índices de pressão de insuflagem nos pneus. Segundo Ferreira et al. (2000b), o trator tracionou grandes cargas com baixa pressão nos pneus ao trabalhar em um solo firme, sem preparo, com cobertura de aveia roçada e índice de cone de 2053 kPa,.

O uso de pneu desgastados ocasionou um aumento de força na barra conforme aumento da pressão interna dos pneus, sendo que a variação de pressões aplicadas nos pneus desgastados geram forças na barra de tração entre 14,35 e 17,17 kN.

Na Tabela 7, observa-se que não ocorreu diferença significativa na interação pneu e pressão de insuflagem para a força na barra de tração somente quando os pneus estão com a maior pressão interna. Os demais níveis de pressão de insuflagem dos pneus favoreceram o desenvolvimento de maior força na barra de tração quando pneus novos foram utilizados.

A utilização de pneus novos não ocasionou variação significativa na força na barra de tração conforme a modificação de lastragem (Tabela 8).

TABELA 8 Interação entre pneu e lastragem para a força na barra de tração (kN).

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	20,35 aA	19,55 aA	18,84 aA
Desgastado	19,10 aA	15,16 bB	13,27 bC

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o pneu desgastado, houve um aumento de força na barra de tração de acordo com o aumento dos níveis de lastragem, resultado semelhante ao encontrado por Charles (1984) ao descrever que o acréscimo da lastragem causou um aumento da força na barra de tração.

Na Tabela 8, observa-se que não ocorreu diferença significativa na interação pneu e lastragem para a força na barra somente quando o trator estava equipado com lastros metálicos e seus pneus com 75% do volume preenchido com água.

Os maiores níveis de pressão e lastragem acarretaram as menores força na barra de tração, quando utilizados pneus novos, como pode ser visto na Figura 8, enquanto a força na barra de tração apresentou maiores valores (24,39 kN) para a interação (L1P2), quando o trator estava totalmente lastrado e seus pneus com uma pressão de insuflagem de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente (Tabela 9).

TABELA 9 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para a força na barra de tração (kN).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	16,80 bA	18,08 aA	18,99 aA
138 / 125 kPa	24,39 aA	20,33 aB	18,75 aB
110 / 83 kPa	19,87 bA	20,23 aA	18,80 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A interação (L2P1) apresentou tendência de maiores valores de força na barra de tração quando pneus desgastados foram utilizados, muito embora não tenha ocorrido diferença estatística entre esta interação e as demais, conforme mostra a Tabela 10.

TABELA 10 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastados para a força na barra de tração (kN).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	19,73	20,25	17,32
138 / 125 kPa	16,10	13,90	15,47
110 / 83 kPa	15,69	13,88	10,24

A média desacompanhada de letra implica interação não significativa entre os fatores

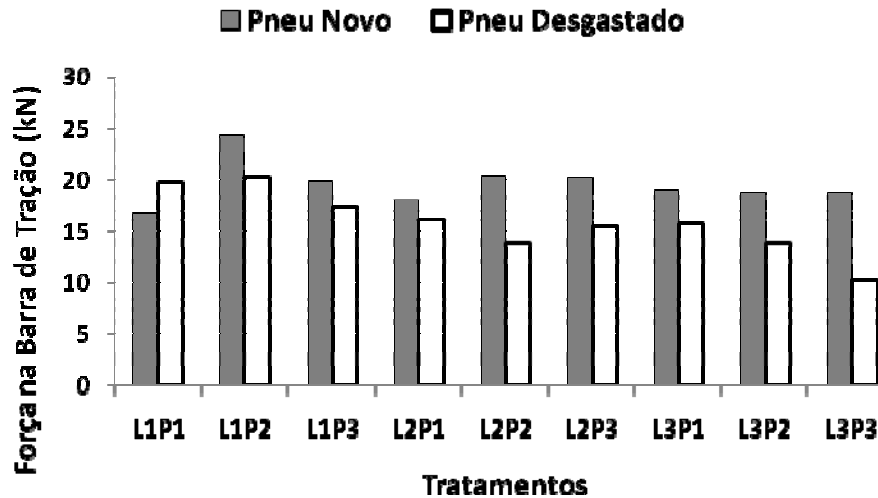


FIGURA 8 Comparação dos resultados de força na barra de tração do pneu novo e do pneu desgastado.

4.3 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração se dá em função da força na barra de tração e velocidade de deslocamento (Mialhe, 1996). Logo, de maneira semelhante à força de tração, a potência na barra de tração mostrou diferença significativa a favor do pneu novo.

Assim como ocorreu com a força na barra de tração, não houve um comportamento linear da potência na barra de tração com a variação da pressão interna no pneu novo, apresentando o trator maior potência na barra de tração (17,77 kW) com pressão interna dos pneus traseiros e dianteiros de 138 e 125 kPa respectivamente (Tabela 11).

TABELA 11 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para a potência na barra de tração (kW).

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	15,98 aB	17,77 aA	17,28 aAB
Desgastado	15,63 aA	14,67 bAB	13,67 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O uso de pneu desgastado ocasionou um aumento de potência na barra, conforme aumento da pressão interna dos pneus, sendo que a variação de pressões aplicadas nos pneus desgastados geraram potências na barra de tração entre 13,67 e 15,63 kW.

Na Tabela 11, observa-se que não ocorreu diferença significativa na interação pneu e pressão de insuflagem para a potência na barra de tração somente quando os pneus estavam com a maior pressão interna. Os demais níveis de pressão de insuflagem dos pneus favoreceram o desenvolvimento de maior potência na barra de tração quando pneus novos foram utilizados.

Ao utilizar pneus novos sem água e sem lastro, o trator desenvolveu menor potência na barra de tração (15,65 kW), quando comparado com os demais níveis de lastragem utilizados, mediante o dos mesmos pneus (Tabela 12). Por outro lado, a utilização de pneus desgastados acarretou um aumento da potência na barra de tração conforme aumento dos índices de lastragem.

TABELA 12 Interação entre pneu e lastragem para a potência na barra de tração (kW).

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	18,16 aA	17,23 aA	15,65 aB
Desgastado	17,51 aA	13,94 bB	12,52 bC

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 12, observa-se que não ocorreu diferença significativa na interação pneu e lastragem para a potência na barra somente quando o trator estava equipado com lastros e seus pneus com 75% do volume preenchido com água.

Pelos dados da Tabela 13 verifica-se que a combinação de determinados níveis de pressão e lastragem são mais favoráveis ao desenvolvimento de maior potência na barra de tração. No presente experimento, pode-se notar que a maior potência na barra de tração foi de 21,05 kW no tratamento L1P2, correspondendo à utilização do trator lastrado, com 75% do volume dos pneus novos ocupado com água, combinado com a pressão de insuflagem de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente.

TABELA 13 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para a potência na barra de tração (kW).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	15,37 cA	16,52 aA	16,06 aA
138 / 125 kPa	21,05 aA	17,11 aB	15,15 aC
110 / 83 kPa	18,04 bA	18,07 aA	15,74 aB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fica evidente pelos dados da Tabela 14 que os menores valores de potência na barra de tração (10,04 kW) foram encontrados ao se utilizar o trator sem lastro e sem água nos pneus desgastados, estando estes com pressão de insuflagem de 110 e 83 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente.

O uso de pneus desgastados com maiores índices de lastragem e pressão nos pneus foi o que causou maior desenvolvimento de potência na barra de tração, entre 16 e 18 kW. Este fato pode ter ocorrido devido ao aumento da área de contato do pneu com o solo, uma vez que as garras desgastadas não

conseguem penetrar de forma eficaz no solo. É necessário aplicar maior força sobre o rodado a fim de melhorar a aderência do pneu com o solo.

TABELA 14 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para a potência na barra de tração (kW).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	17,96 aA	14,51 aB	14,42 aB
138 / 125 kPa	18,32 aA	12,58 aB	13,10 aB
110 / 83 kPa	16,24 aA	14,72 aA	10,04 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observando os dados das Tabela 13 e 14 e Figura 9, verifica-se que houve um aumento médio de 13,82% de potência na barra de tração a favor dos pneus novos e o único tratamento em que o desenvolvimento de potência na barra de tração foi favorável aos pneus desgastados foi o (L1P1) com 16,85% a mais. Por outro lado, o pior rendimento se deu no tratamento (L3P3) onde a diferença a favor dos pneus novos foi de 36,21%. Maiores valores de potência na barra de tração, quando utilizados pneus novos, também foram encontrados por Franz (1988). Este autor verificou que os pneus com altura das garras de 33 mm e níveis de 20% de patinagem apresentaram valores de potência na barra de tração de 24,77 kW, enquanto a utilização de pneus com altura das garras de 11 mm, nas mesmas condições de velocidade e patinagem, geraram potência na barra de tração 14,5% inferior.

Analisando o comportamento da potência na barra de tração em função da patinagem, nota-se que ocorreu um aumento excessivo de patinagem quando utilizou-se o trator sem lastro, com pneus novos sem água, causando uma diminuição da potência na barra de tração. Quanto aos demais tratamentos, houve uma tendência de aumento da potência na barra de tração conforme

acréscimo dos índices de patinagem. Este fato assemelha-se ao observado por Corrêa (1993) que diz que a potência na barra de tração tende a aumentar conforme a patinagem, até atingir um nível máximo de potência na barra, a qual posteriormente diminui com o aumento da patinagem.

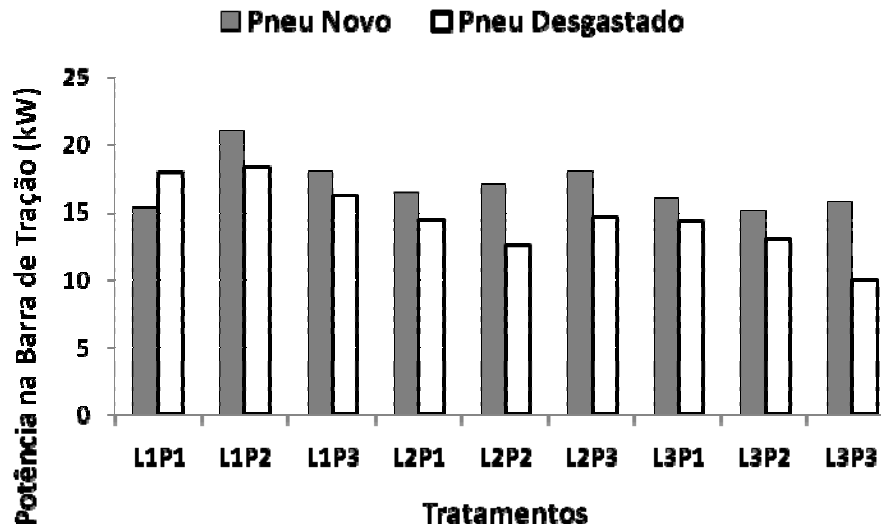


FIGURA 9 Comparação dos resultados de potência na barra de tração do pneu novo e do pneu desgastado.

4.4 Coeficiente de tração

O coeficiente de tração mede a eficiência do sistema rodado-solo em relação à adição de pesos adicionais (lastro) ao eixo de tração. Representa o quanto de peso o trator consegue transformar em força na barra de tração.

Nas Tabelas 15, 16, 17 e 18, estão representados os resultados das interações entre os fatores pneu, pressão e lastragem para o coeficiente de tração.

TABELA 15 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o coeficiente de tração.

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	0,46 aB	0,53 aA	0,49 aAB
Desgastado	0,43 aA	0,40 bAB	0,35 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 15, observa-se que não ocorreu diferença significativa na interação pneu e pressão de insuflagem para o coeficiente de tração somente quando os pneus estavam com a maior pressão interna. Assim como ocorreu com a patinagem, força e potência na barra de tração, não houve um comportamento linear do coeficiente de tração com a variação da pressão interna no pneu novo, apresentando o trator maior coeficiente de tração (0,53) com pressão interna dos pneus traseiros e dianteiros de 138 e 125 kPa respectivamente.

O uso de pneu desgastados ocasionou um aumento do coeficiente de tração conforme aumento da pressão interna dos pneus.

Observando os dados da Tabela 16, verifica-se que o pneu novo obteve maior coeficiente de tração (0,56) quando foi utilizada a menor lastragem, corroborando os resultados encontrados por Yanai et al. (1999). Estes autores observaram que o pneu desgastado não apresentou um comportamento linear nos valores de coeficiente de tração, variando-se os níveis de lastragem. Isso se deve ao fato de o coeficiente de tração ser calculado pela relação entre força na barra de tração e peso do trator e, no caso da utilização de pneus novos, as forças na barra de tração quando utilizada a menor lastragem foram parecidas com a forças encontradas ao utilizar lastragens superiores, logo o aumento do denominador da equação, no caso o peso, acarretou aumento do coeficiente de tração. Todavia, o pneu desgastado apresentou altos valores de força na barra de

tração quando utilizada a maior lastragem e nem mesmo a diminuição do peso do trator fez com que o coeficiente de tração diminuísse nestes tratamentos.

TABELA 16 Interação entre pneu e lastragem para o coeficiente de tração.

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	0,45 aB	0,47 aB	0,56 aA
Desgastado	0,42 aA	0,36 bB	0,40 bAB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas Tabela 17 e 18, pode-se observar que a relação entre a força na barra de tração e o peso do trator varia com os diferentes níveis de pressão e lastragem, pois determinadas combinações destes são mais favoráveis ao desenvolvimento de maior força na barra de tração ocasionando um maior coeficiente de tração.

TABELA 17 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o coeficiente de tração.

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	0,37 bB	0,43 aB	0,57 aA
138 / 125 kPa	0,54 aA	0,49 aA	0,56 aA
110 / 83 kPa	0,44 bB	0,48 aAB	0,56 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 18, pode-se verificar que a utilização de pneus novos nos tratamentos onde a lastragem era menor (L3), resultou em maior coeficiente de tração, juntamente com o tratamento L1P2, onde o trator encontrava-se com lastros metálicos e lastro de água ocupando 75% do volume dos pneus, os quais apresentavam uma pressão de insuflagem de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente.

TABELA 18 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o coeficiente de tração.

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	0,44 aA	0,38 aA	0,47 aA
138 / 125 kPa	0,45 aA	0,33 aB	0,41 aAB
110 / 83 kPa	0,38 aA	0,37 aA	0,31 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 18 e Figura 10, pode-se verificar que a utilização de pneus desgastados não causou variações muito grandes no coeficiente de tração mediante os diferentes tratamentos. Os tratamentos L1P1, L1P2, L3P1 e L3P2 apresentaram melhores coeficiente de tração - superiores a 0,40 - mesmo assim, inferiores à maioria dos valores encontrados com a utilização de pneu novo.

Os resultados da força e potência na barra de tração e o coeficiente de tração corroboram as afirmações de Corrêa (1993), Yanai et al. (1999), Ferreira et al. (2000), Gabriel Filho et al. (2004), Barbosa (2005), Jesuino (2007) -- entre outros -- de que (i) a tração depende de características do solo e dos rodados e (ii) que a interação entre pressão, lastragem e pneu interfere na capacidade do trator em desenvolver tração.

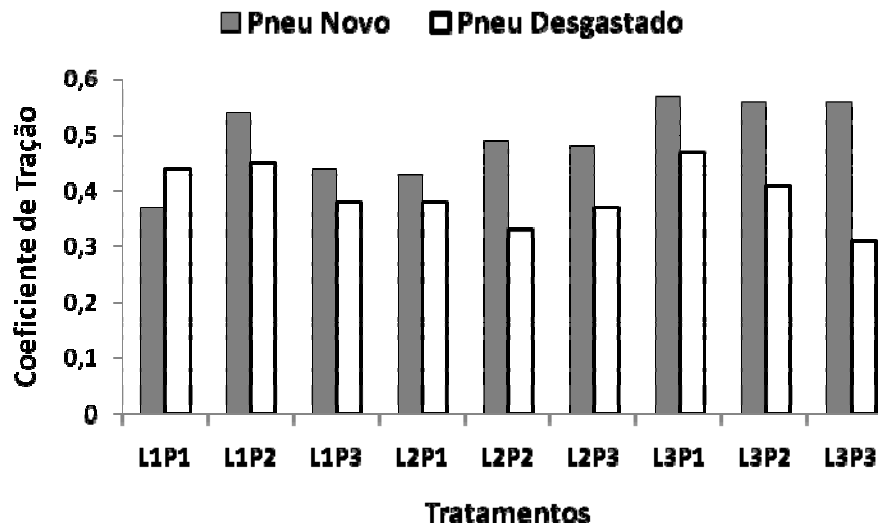


FIGURA 10 Comparação dos resultados do coeficiente de tração do pneu novo e do pneu desgastado.

4.5 Consumo horário de combustível

Através do consumo horário de combustível, é possível ter uma idéia instantânea do gasto de energia que o trator tem ao executar determinada tarefa.

Na Tabela 19, observa-se, que a utilização de pneus novos com pressão de 180 e 165 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente ocasionou menor consumo horário de combustível, quando comparado aos demais tratamentos, sendo este o único nível de pressão onde houve diferença significativa de consumo volumétrico de combustível, considerando cada pneu isoladamente.

TABELA 19 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o consumo horário de combustível (L h⁻¹).

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	9,64 bB	10,35 aA	10,27 aA
Desgastado	9,94 aA	9,83 bA	9,91 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao se comparar os dois pneus, observa-se que ocorreu maior consumo horário de combustível, quando utilizados pneus novos nas menores pressões. Enquanto que, com maiores níveis de pressão (P1), o consumo horário de combustível ao se utilizar pneus desgastados foi superior ao uso de pneus novos. O tratamento P1 foi o único em que o pneu desgastado apresentou patinagem superior ao pneu novo, o que pode explicar o maior consumo de combustível. Segundo Silveira (1988), o aumento da pressão de insuflagem causa o acréscimo nos índices de patinagem e conseqüente aumento do consumo de combustível.

TABELA 20 Interação entre pneu e lastragem para o consumo horário de combustível (L h⁻¹).

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	10,06 aAB	9,99 aB	10,21 aA
Desgastado	9,95 aA	10,10 aA	9,62 bB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Considerando o comportamento individual de cada pneu, os novos apresentaram maior consumo quando a menor lastragem (L3) foi utilizada, enquanto os pneus desgastados apresentaram menor consumo volumétrico de combustível nesta condição de lastragem.

Na Tabela 20, nota-se que não ocorreu diferença significativa entre os dois pneus no que se refere ao consumo horário de combustível em relação à

variação de lastragem, com exceção do menor índice de lastragem (L3), estando o trator sem lastros metálicos e sem lastro de água, indicando um aumento desfavorável de 5,78% no consumo para os pneus novos. Fato que pode ser explicado, pois a diminuição da lastragem quando pneus novos foram utilizados, acarretou um aumento significativo dos índices de patinagem, aumentando também o consumo horário de combustível. Corrêa (1993) constatou que o aumento dos índices de patinagem ocasionou aumento do consumo horário de combustível.

Através da análise da Tabela 21, pode-se observar que os tratamentos L1P1 e L2P1 foram os únicos que diferiram dos demais, apresentando menores consumo de combustível horário.

TABELA 21 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o consumo horário de combustível (L h⁻¹).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	9,55 bB	9,33 bB	10,03 aA
138 / 125 kPa	10,37 aA	10,37 aA	10,30 aA
110 / 83 kPa	10,24 aA	10,27 aA	10,29 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O maior consumo horário de combustível foi observado com a utilização de pneus novos em relação aos desgastados (Figura 11). Esse fato ocorreu porque o pneu novo apresentou um desenvolvimento maior de força na barra de tração, o que ocasionou maior patinagem e conseqüente aumento no consumo volumétrico de combustível.

TABELA 22 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	10,17 aA	10,17 aA	9,49 bB
138 / 125 kPa	9,83 bAB	10,04 aA	9,61 abB
110 / 83 kPa	9,87 bAB	10,10 aA	9,75 aB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

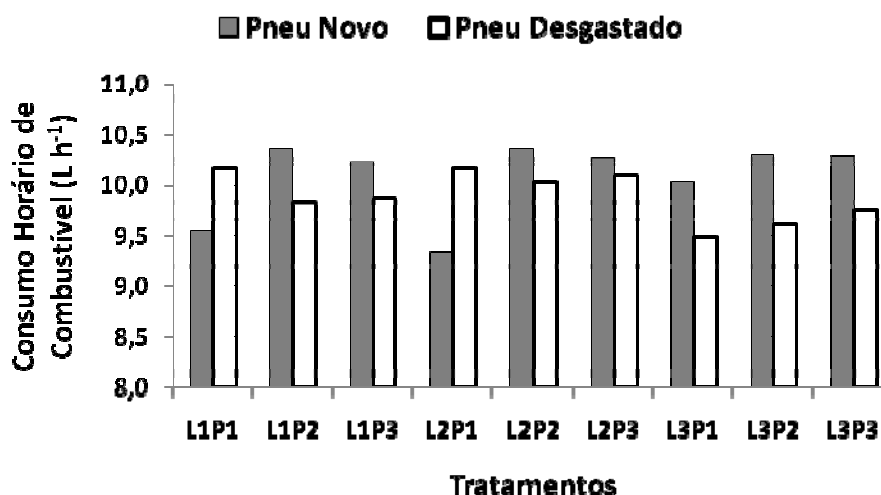


FIGURA 11 Comparação dos resultados do consumo horário de combustível do pneu novo e do pneu desgastado.

4.6 Consumo específico de combustível

A forma mais técnica de expressar o consumo de combustível é através da unidade de massa por unidade de potência ($g kWh^{-1}$), conhecida como consumo específico. Esta forma técnica pode ser usada para comparar motores, tratores e equipamentos de tamanhos e formas diferentes (Lopes, 2003).

Na Tabela 23, pode-se observar que, nos diferentes níveis de pressão de inflação, o pneu novo não apresenta variação de consumo específico de combustível, ao contrário do pneu desgastado, que apresentou variação para todos os índices, em que o consumo de combustível foi menor, quanto maior a pressão. Este fato pode ser explicado, pois maiores índices de pressão ocasionaram maiores valores de potência na barra de tração e, como o consumo específico de combustível é uma relação entre o consumo volumétrico e a potência na barra de tração, quanto maior o desenvolvimento de potência na barra de tração, menor será o consumo específico de combustível.

TABELA 23 Interação entre pneu e pressão de insuflagem para o consumo específico de combustível (g kWh^{-1}).

Pneu	Pressão de Insuflagem		
	180 / 165 kPa	138 / 125 kPa	110 / 83 kPa
Novo	516,88 aA	508,32 bA	512,15 bA
Desgastado	554,48 aB	598,93 aAB	651,84 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Pelos dados da Tabela 24, observa-se que o pneu novo apresentou maior consumo específico de combustível, quando utilizou-se o trator sem lastros metálicos e de água. O pneu desgastado nas mesmas condições apresentou um consumo específico médio de $651,84 \text{ g kWh}^{-1}$, sendo o maior consumo registrado entre todos os tratamentos, representando um acréscimo de 14,97% no consumo específico de combustível com relação à utilização do trator com lastros metálicos e de água. Este resultado está de acordo com o resultado encontrado por Lopes et al. (2003). Estes autores concluíram que a lastragem com água (75% do volume dos pneus) ofereceu menor consumo específico de combustível, em comparação à utilização de pneus sem água.

TABELA 24 Interação entre pneu e lastragem para o consumo específico de combustível (g kWh⁻¹).

Pneu	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
Novo	480,55 aB	497,00 bB	559,80 bA
Desgastado	490,98 aB	632,87 aA	681,41 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 25 e 26 e Figura 12, observa-se que o consumo específico de combustível é maior com o uso de pneu velho, quando os dois tipos de pneus são comparados. Este resultado corrobora os já encontrados por (Franz, 1988) e (Miranda et al., 2000), excetuando-se somente os casos em que maiores índices de lastragem e pressão (L1P1) são utilizados.

Na Tabela 25, observa-se que o menor consumo específico de combustível - de 423,35 g kWh⁻¹ - ocorreu no tratamento (L1P2), estando o trator lastrado, pneus com água ocupando 75% de seu volume e pressão interna de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente.

TABELA 25 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu novo para o consumo específico de combustível (g kWh⁻¹).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	534,05 aA	485,48 aA	536,56 aA
138 / 125 kPa	423,35 bC	521,72 aB	585,25 aA
110 / 83 kPa	489,31 aB	489,04 aB	563,48 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O tratamento L1P2 foi o único que diferiu dos demais quando comparado à lastragem, interagindo com os diferentes níveis pressão de insuflagem, para o uso de pneus novos, no que se refere ao consumo específico

de combustível. No mesmo tratamento, ocorreram os maiores valores de potência na barra de tração, o que corrobora os resultados encontrados por Franz (1988), que encontrou valores mínimos de consumo específico de combustível onde acontecem valores máximos de potência na barra de tração.

Analisando-se a pressão de insuflagem dos pneus novos, diante dos diferentes níveis de lastragem (Tabela 26), observa-se que não ocorre variação do consumo específico de combustível para os diferentes níveis de lastragem quando se utiliza maior nível de pressão (P1).

Na Tabela 26, observa-se que o maior consumo específico de combustível - de 838,06 g kWh⁻¹ - ocorreu no tratamento (L3P3), estando o trator sem lastro, com 110 e 83 kPa de pressão interna nos pneus desgastados traseiros e dianteiros respectivamente.

TABELA 26 Interação entre pressão de insuflagem e lastragem quando utilizados pneu desgastado para o consumo específico de combustível (g.kWh⁻¹).

Pressão de Insuflagem	Lastragem		
	100%	92,55%	74,18%
180 / 165 kPa	486,40 aA	609,40 aA	567,66 bA
138 / 125 kPa	461,84 aB	696,46 aA	638,50 bA
110 / 83 kPa	524,71 aB	592,74 aB	838,06 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao analisar a pressão de insuflagem dos pneus desgastados, diante dos diferentes níveis de lastragem, nota-se que a utilização de maior pressão (P1), não provocou variação do consumo específico de combustível para os diferentes níveis de lastragem, fato semelhante ao que ocorreu com o uso de pneus novos. A utilização da menor pressão (P3), estando o trator sem lastros e sem água nos pneus, causa aumento de aproximadamente 37% no consumo específico de combustível com relação a utilização de pneus com água.

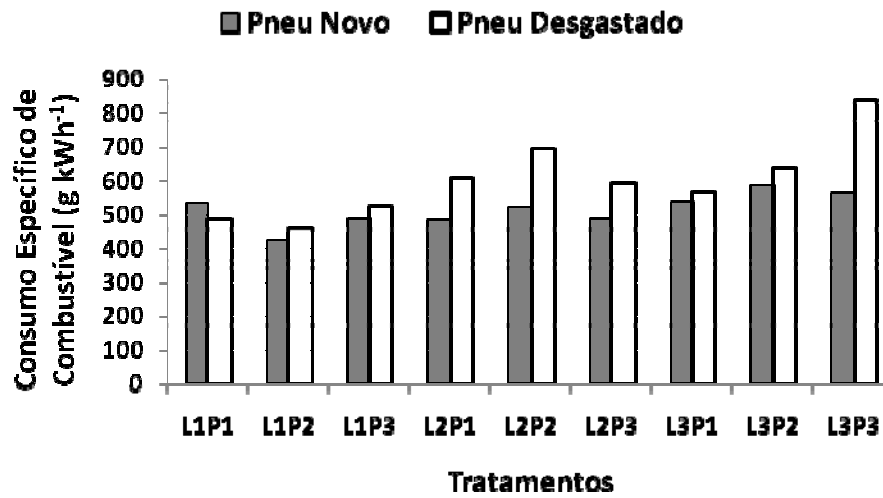


FIGURA 12 Comparação dos resultados do consumo específico de combustível do pneu novo e do pneu desgastado.

5 CONCLUSÕES

Para as condições estudadas, o comportamento dos pneus novos foi superior aos pneus desgastados.

Com pneu novo, o trator lastrado em 100% do seu peso e pressão de insuflagem de 138 e 125 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente, apresenta melhor comportamento quanto ao desenvolvimento de força na barra de tração, potência na barra de tração e consumo específico de combustível.

Com pneu desgastado, o trator lastrado em 100% do seu peso e pressão de insuflagem de 180 e 165 kPa nos pneus traseiros e dianteiros respectivamente apresenta melhor comportamento quanto ao desenvolvimento de força na barra de tração, potência na barra de tração, coeficiente de tração e consumo específico de combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standard D 497.4, ASAE**: agricultural machinery management data. Saint Joseph, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standard S296.4 DEC95, ASAE**: uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices. Saint Joseph, 1999.

BARBOSA, J. A. **Análise de um modelo para predição de desgaste em pneus de tração de tratores agrícolas**. 1998. 41p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BARBOSA, J. A.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P.; DIAS JUNIOR, M. S. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 2, p.474-480, maio/ago. 2005.

BARGER, E. L.; LILJEDAHN, J. B.; CARLETON, W. M.; MCKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. New York: E. Blucher, 1963. 398 p.

BASHFORD, L. L.; AL-HAMED, S.; JANAME, C. Effects of tire size and inflation pressure on tractive performance. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 9, n. 4, p.343-348, May 1993.

CHARLES, S. M. Effects of ballast and inflation pressure on tractor tire performance. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 65, n. 2, p.11-13, Feb. 1984.

CORRÊA, I. M. **Características de tração de um trator agrícola utilizando-se de pneus radial e diagonal**. 1993. 99p. Dissertação de (Mestrado em Agronomia) - Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

CORRÊA, I. M. Com peso certo. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 1, n. 22, p.10-11, jul./ago. 2003.

DWYER, M. J.; FEBO, P. **Handbook of agricultural tyre performance**. Silsoe: Institute of Engineering Research, 1987. 16 p. (Report, 47).

FERREIRA, M. F.; NEUJAHN, E. B.; SCHLOSSER, J. F.; SHNEIDER, V. Influência da pressão interna em pneus diagonais na força de tração de um trator 4x2 em duas condições de superfície. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 1, p. 66-70, jan./abr. 2000a.

FERREIRA, M. F.; SCHLOSSER, J. F.; NEUJAHN, E. B. Patinamento de pneus diagonais de um trator 4x2 em função da variação da pressão interna e carga na barra de tração. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n.3, p. 254-257, set./dez. 2000b.

FRANZ, C. A. B. **Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores agrícolas, com diferentes níveis de desgaste**. 1988. 89p. Dissertação (Mestrado EM Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

GEE-CLOUGH, D.; MCALLISTER, M.; EVERDEN, D.W. Tractive performance of tractor drive tires II: a comparison of radial and cross-ply carcass construction. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 22, n. 4, p. 385-395, 1977.

JESUINO, P. R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura). - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LOPES, A. **Desgaste em pneus do rodado motriz de tratores agrícolas em função do deslizamento**. 1996. 35p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V dos; FERREIRA, M. P.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. C.; BAUER, G. B. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 481-486, 2005.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; DA SILVA, R. B. Avaliação das áreas de contato de pneus agrícolas em função das cargas e pressões de inflação em superfície rígida. **Revista Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 20-35. 2005.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 772p.

MIRANDA, N. DE O.; OLIVEIRA, M. DE; NUNES, R. L. Desempenho operacional de trator com tração dianteira auxiliar na subsolagem de um inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 97-102, jan./abr. 2000.

MONTEIRO, L. de A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura). - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MONTEIRO, L. de A.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. G. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 68-84, 2009.

NAGAOKA, A.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Resistência do solo à penetração, após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se equipamento para ensaio dinâmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 287-393. maio/ago. 2003.

REIS, A. V.; MACHADO, A. L. T.; TILLMANN, C. A. C.; MORAES, M. L. B. **Tratores, motores, combustíveis e lubrificantes**. 2.ed. Pelotas: UFPel, 2002. 315p.

SERRANO, J. M. P. R. Pressão de insuflagem dos pneus no desempenho do conjunto trator-grade de discos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 277-233, fev. 2008.

SERRANO, J. M. P. R.; PEÇA, J. O.; PINHEIRO, A.; CARVALHO, M.; NUNES, M.; RIBEIRO, L.; SANTOS, L. Ensaio de campo de tracção:

Contribuição para a otimização do desempenho do tractor agrícola. **Gazeta das Aldeias**, Aveiro, n. 3096, p.29-36, jan./mar. 2003.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o tractor**. 2. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 245p.

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

WILEY, J. C.; TURNER, R. J. **Power hop instability of tractors**. Saint Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. v. 32.

WULFSOHN, D.; UPADHYAIA, S. K.; CHANCELLOR, W. J. Tractive characteristics of radial ply and bias ply tyres in a California soil. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 111-34, 1988.

YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; LANÇAS, K. P.; CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G. Desempenho operacional de tractor com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p.1427-1434, Ago. 1999.

ZOZ, F. M.; GRISSO, R. D. **Traction and tractor performance**. Saint Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2003. v. 27.