



DIEGO JOSÉ CARVALHO ALONSO

**INFLUÊNCIA DA LASTRAGEM E PRESSÃO DE
INFLAÇÃO DO PNEU DE UM TRATOR
AGRÍCOLA NO SEU DESEMPENHO
OPERACIONAL TRABALHANDO EM SOLO NA
CAPACIDADE DE CAMPO**

LAVRAS – MG

2016

DIEGO JOSÉ CARVALHO ALONSO

**INFLUÊNCIA DA LASTRAGEM E PRESSÃO DE INFLAÇÃO DO
PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA NO SEU DESEMPENHO
OPERACIONAL TRABALHANDO EM SOLO NA CAPACIDADE DE
CAMPO**

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 Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Alonso, Diego José Carvalho.

Influência da lastragem e pressão de inflação do pneu de um trator agrícola no seu desempenho operacional trabalhando em solo na capacidade de campo / Diego José Carvalho Alonso. – Lavras : UFLA, 2016.

52 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Bibliografia.

1. Consumo de combustível. 2. Patinagem. 3. Força na barra de tração. 4. Umidade do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

DIEGO JOSÉ CARVALHO ALONSO

**INFLUÊNCIA DA LASTRAGEM E PRESSÃO DE INFLAÇÃO DO
PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA NO SEU DESEMPENHO
OPERACIONAL TRABALHANDO EM SOLO NA CAPACIDADE DE
CAMPO**

**INFLUENCE OF BALLASTING AND INFLATION PRESSURE OF THE
TIRE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR OVER ITS OPERATION
PERFORMANCE WORKING IN SOIL WITH FIELD CAPACITY**

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 Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Jackson Antônio Barbosa

UFLA

Prof. Dr. Ronald Leite Barbosa

IFMG-campus Betim

Prof. Dr. Antonio Donizette de Oliveira

UFLA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

LAVRAS – MG

2016

Aos meus pais, Claret e Eunice, ao meu irmão Cleison e toda a minha família e amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Engenharia, principalmente, ao setor de Máquinas e mecanização Agrícola pela oportunidade de cursar o mestrado.

A CAPES pela bolsa de estudos concedida.

A todos os professores com quem tive o prazer de estudar e pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato, pela orientação, ensinamentos e compreensão durante a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Jackson Antônio Barbosa, pelo auxílio e companheirismo e ensinamentos desde o período da graduação.

Ao professor Dr. Pedro Castro Neto, por ceder as instalações do G-óleo para a confecção de peças.

Ao professor Dr. Antônio Donizette de Oliveira pelo apoio em todo departamento de mecanização agrícola.

Ao professor Gilberto Coelho pelo empréstimo do sensor de umidade do solo

Ao professor e amigo Ronald pelo aceite de participar da minha banca.

Ao professor e grande amigo Tomás, pelo grande conhecimento a mim transmitido. Aos amigos Delorme, Eder, Pedro, Nenêm, Pigarro, Luiz Alfredo, Guará e Prosa que me ajudaram e deram todo o apoio necessário na preparação e coleta dos dados do trabalho.

A todo pessoal da mecânica do G-óleo pela ajuda na coleta de dados de campo.

À Helem que sempre atendeu com gentileza e prontidão todas as dúvidas e o de que mais precisava na secretaria da Pós - Graduação.

E a todos que participaram, direta e indiretamente, para que este trabalho fosse concluído.

RESUMO

O trator agrícola está presente, em todas as etapas da produção agrícola, do preparo inicial do solo ao transporte do produto no final da colheita. Diversas são as formas de controle da qualidade e eficiência do seu trabalho, podendo se destacar a pressão de insuflagem dos pneus e lastragem, contudo um fator determinante, que não pode ser controlado é o fator climático. Sua única opção é a escolha de ajustes do trator concomitante com a umidade do solo, para a geração da melhor eficiência, mas as utilizações da pressão correta dos pneus e lastro do trator têm que proporcionar um consumo de combustível satisfatório. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o consumo de combustível, horário e específico, força na barra de tração e patinagem de um trator agrícola em três lastragens e cinco pressões de insuflagem dos pneus, em solo em capacidade de campo (150 m³/m³ de umidade), o experimento foi conduzido na fazenda Palmital, pertencente à Universidade Federal de Lavras – UFLA, no município de Ijaci – MG, no período de junho de 2016. O solo foi adequado à capacidade de campo, por meio de um pivô central e aferido em campo por um sensor elétrico de umidade. O trator utilizado foi um A950 Valtra 4x2 TDA com 95 cv (69,8 kW) a 2200 rpm, segundo a norma ISO TR 14396, montado em pneus traseiros diagonais 18.4 – 34 R-1 e dianteiros 14.9 – 24 R-1. O trator de frenagem utilizado foi o Agrale BX 6110 4x2 TDA com 105 cv (77,2 kW) a 2.300 rpm montado em pneus traseiros 23.1 – 30 R1 dianteiros 14.9 – 24 R1. Foi conectada uma célula de carga marca HBM U1 de 5 toneladas, ligando ambos os tratores, para aferição da força na barra de tração. O consumo foi mensurado, por meio de um fluxômetro marca oval e a patinagem pelo método das balizas e tempos. O delineamento experimental montado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x3 com 15 tratamentos e 3 repetições. Os resultados dos parâmetros consumo volumétrico e específico de combustível, patinagem e força na barra de tração mostram que a maior eficiência do trator foi medida nos lastros 47,5 kN e 44,67 kN e na pressão de 110 kPa nos pneus traseiros e 97 kPa nos pneus dianteiros.

Palavras-chave: Consumo de combustível. Patinagem. Força na barra de tração. Umidade do solo.

ABSTRACT

The agricultural tractor is present in all stages of agricultural production, from the initial preparation of the soil to the transportation of the final product. Many are the ways for controlling the quality and efficiency of its work, among which we highlight tire pressure and ballasting. However, a determining factor that cannot be controlled is climate, with which the only option is adjusting the tractor to soil moisture to allow better efficiency, but the use of the correct pressure and ballast must provide satisfactory fuel consumption. Thus, this work aimed at evaluating the hourly and specific fuel consumption, draw bar force and slippage of an agricultural tractor using three ballasts and five tire pressures, in soil presenting field capacity of $150 \text{ m}^3/\text{m}^3$ of moisture. The experiment was conducted at the Palmital farm, of the Universidade Federal de Lavras (UFLA), in the municipality of Ijací, Minas Gerais, Brazil, in June of 2016. The soil was adapted to field capacity by means of central pivot and assessed in field by electric field sensor. The tractor used was a A950 Valtra 4x2 TDA, with 95 horsepower (69.8kW), at 2200 rpm, according to norm ISO TR 14396, assembled on diagonal back tires 18.4 – 34 R-1 and front tires 14.9 – 24 R-1. The breaking tractor used was Agrale BX 6110 4x2 TDA, with 105 horsepower (77.2 kW), at 2300 rpm, assembled on diagonal back tires 18.4 – 34 R-1 and front tires 14.9 – R-1. A HBM U1 charge cell of 5 tons connected both tractors in order to assess the force of the draw bar. Fuel consumption was measured by means of an Oval flow meter, while slippage was measured using the marks and times method. The experimental design was completely randomized, assembled in a 5x3 factorial scheme, with 15 treatments and 3 replicates. The results of parameters volume and specific fuel consumption, slippage and draw bar force showed higher efficiency using ballasts 47.5 kN and 44.67 kN, and 110 kPa of back tire pressure and 97 kPa of front tire pressure.

Keywords: Fuel consumption. Slippage. Draw bar force. Soil moisture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferentes umidades do solo.....	16
Figura 2 - Comboio utilizado na realização dos ensaios.	24
Figura 3 - Célula de carga conectada ao trator.	25
Figura 4 - Fluxômetro utilizado para medição do consumo. Figura 4(b): Ligação do fluxômetro ao sistema de alimentação do trator.....	26
Figura 5 - Esquema de ligação do Fluxômetro.	27
Figura 6 - Data Logger Incon CD 400.	28
Figura 7 - Data logger HBM Spider 8.....	28
Figura 8 - Calibração da célula de carga por meio de máquina de ensaio universal.....	30
Figura 9 - Acoplamento da célula de carga à máquina de ensaio universal.....	30
Figura 10 - Bancada de testes para calibração do fluxômetro.	33
Figura 11 - Termômetro digital para a coleta da temperatura do diesel.	34
Figura 12 - Coleta da temperatura em campo.	35
Figura 13 - Coleta do valor da capacidade de campo em balde perfurado.	36
Figura 14 - Irrigação com pivo central.	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Valores para força na barra de tração (kN)	39
Gráfico 2 - Comparação entre os índices de patinagem nas parcelas (%)	41
Gráfico 3 - Resultado médio do consumo volumétrico de combustível (Lh^{-1}) ...	43
Gráfico 4 - Consumo específico de combustível ($g kWh^{-1}$).	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos.	29
Tabela 2 - Propriedades físicas do solo.	35
Tabela 3 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para força na barra de tração (kN)	40
Tabela 4 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para patinagem (%).	42
Tabela 5 - Interação entre lastro e pressão de inflação para consumo volumétrico de combustível (Lh^{-1}).	44
Tabela 6 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para consumo específico de combustível ($g kWh^{-1}$).	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Solo em capacidade de campo	15
2.2	Pressão de inflação	17
2.3	Lastragem	18
2.4	Patinagem	19
2.5	Consumo de combustível	20
2.6	Força na barra de tração	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	Materiais	23
3.1.1	Tratores	23
3.1.1.1	Trator de tração	23
3.1.1.2	Trator freio	24
3.1.2	Célula de carga	24
3.1.3	Fluxômetro	25
3.1.4	Data Logger	27
3.1.4.1	Incon CD 400	27
3.1.4.2	HBM Spider 8	28
3.2	Métodos	29
3.2.1	Determinação da força na barra de tração	29
3.2.2	Determinação da potência na barra de tração	31
3.2.3	Determinação da patinagem	31
3.2.4	Determinação do consumo volumétrico de combustível	32
3.2.5	Determinação do consumo específico de combustível	33
3.2.6	Propriedades físicas do solo	35
3.2.7	Umidade de capacidade de campo	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Força na barra de tração	39
4.2	Patinagem	41
4.3	Consumo volumétrico de combustível	43
4.4	Consumo específico de combustível	44
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade da diminuição do consumo de combustíveis fósseis, novas técnicas devem ser empregadas, para aumentar a eficiência de todo o processo de produção de alimentos em que a mecanização agrícola tem papel fundamental, nas questões econômicas e ambientais. Seu emprego correto proporciona a maior produção de alimentos com os menores custos e seu uso inadequado pode acarretar desperdícios de energia.

O trator agrícola é a máquina mais utilizada no campo, sendo montado em pneus, a grande maioria, assim, o uso da pressão adequada é crucial para a eficiência do trator.

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de veículos automotores, ANFAVEA, em Janeiro de 2015, foram vendidos 2570 tratores montados em pneumáticos e apenas 27 tratores de esteiras, sendo os montados em pneumáticos representando 99% das vendas no mercado interno brasileiro.

A verificação da pressão correta dos pneus é de suma importância, para um melhor desempenho das funções do trator no campo, fator diversas vezes esquecido ou ignorado, sendo necessária a verificação diariamente. Outro fator, também, esquecido nas operações agrícolas envolvidas com o trator é o uso correto de sua lastragem. Diversas operações são realizadas com lastragens inadequadas, prejudicando o desempenho do conjunto mecanizado com aumento da patinação e aumento do consumo de combustível. Fazendo o uso da correta pressão do pneu e lastragem, o desempenho do trator tende a aumentar, elevando a capacidade de tração e, assim, diminuindo a patinação e consumo de combustível.

Um fator não controlado pelo homem é o fator climático. Com o aumento da umidade do solo, a capacidade trativa do trator tende a diminuir e a patinação e consumo de combustível aumentarem. O solo em capacidade de campo representa um cenário desfavorável para a tração do trator.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho operacional de um trator agrícola 4x2 TDA, com potência de 105 cv (77,2 kW), por meio do consumo de combustível, patinação e força, na barra de tração, estando o solo em capacidade de campo, utilizando de 3 níveis de lastragens e 5 pressões de insuflagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solo em capacidade de campo

Segundo Libardi (2005), a infiltração de água é definida como o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo, no sentido descendente, pela sua superfície. A quantidade de água que passa pelo perfil do solo por unidade de tempo é em cm h^{-1} ou mm h^{-1} . É esse parâmetro que indica qual o comportamento de uma lâmina de água sobre o solo em relação ao tempo para nele infiltrar.

Segundo Silveira (2010), os principais fatores que influenciam, no processo de infiltração, são o tipo de solo, declividade do terreno, altura de retenção superficial e espessura da camada saturada, grau de umidade do solo, ação da precipitação sobre o solo, compactação por homens e animais, macroestrutura do terreno, cobertura vegetal, temperatura, presença do ar e variação da capacidade de infiltração.

Klein (2008) ressalta que a capacidade de infiltração de água no solo é afetada por diversos fatores, como a textura, porosidade, teor de água inicial do solo, estabilidade dos agregados, rugosidade superficial, cobertura da superfície do solo, tipos de manejo, entre outros

Ashburner e Sims (1984) explicam que, se um solo estiver com baixo teor de água, apresentará elevada resistência, proporcionando pouca deformação, antes de haver modificações na sua estrutura. No estado friável, a deformação é proporcional à carga aplicada e revertida rapidamente quando o carregamento é removido. Já, quando o solo apresenta elevado teor de água, estado plástico, ele deforma-se, lentamente, em função da carga aplicada, não havendo reversão quando a água é removida.

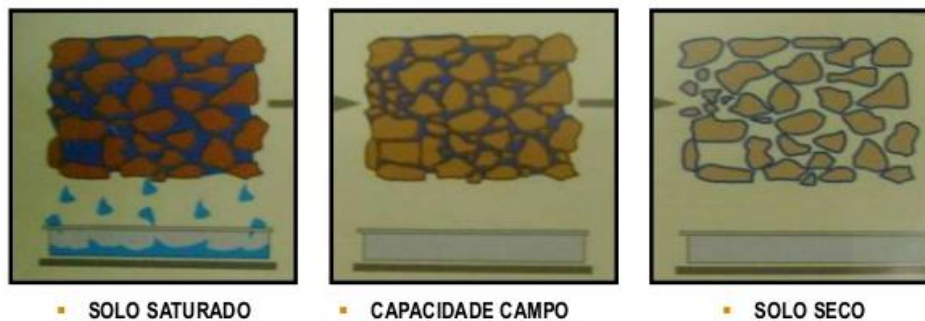
O sensor ECH2 O (Decagon Devices, Inc.) é uma sonda de capacitância de baixo custo, de fácil adaptação a sistemas automáticos de aquisição de dados

e que fornece leituras de potencial elétrico (mV) proporcionais à constante dielétrica do solo e, portanto à umidade volumétrica do solo. Alguns estudos têm mostrado que, quando devidamente calibrado, o sensor ECH2 O pode produzir resultados tão bons quanto o TDR, na determinação da umidade do solo, com a vantagem de ter um custo muito mais baixo (CZARNOMSKI et al., 2005; TRINTINALHA et al., 2004).

De acordo com Hartmann (1994), o modelo mais simples para o balanço de água no solo é o modelo de balde (“bucket model”). Neste modelo, assume-se que o solo tem uma capacidade fixa, para armazenar água, a qual está disponível para a evapotranspiração.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009), a capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo, após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo, previamente, saturado por chuva ou irrigação; é a quantidade de água retida pelo solo, quando a condutividade hidráulica não saturada se torna tão pequena que o fluxo de água pode ser considerado como sendo zero. A figura abaixo representa os estados de umidade de um solo.

Figura 1 - Diferentes umidades do solo.



Fonte: Netafilm (2015)

2.2 Pressão de inflação

Ferreira et al. (2000) estudou a influência da pressão interna dos pneus, nas forças de tração, em função das cargas impostas à barra de tração do trator de teste em solo solto. Verificou que, nas três cargas impostas à barra de tração, a diminuição da pressão interna, também, diminuiu a força de tração nas três cargas.

A pressão de inflação tem papel fundamental, na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície (LEE; KIM, 1997). Esses autores analisaram o efeito da pressão de inflação, no desempenho da capacidade tratória de um trator, usando pneus diagonais e concluíram que a máxima eficiência de tração foi verificada na velocidade de deslocamento de 5,5 km.h⁻¹; entretanto os autores não puderam afirmar que, com o aumento da velocidade de deslocamento, houve aumento da eficiência de tração. O melhor desempenho dos rodados do trator foi obtido pelo ajuste da pressão de inflação dos pneus de acordo com o tipo de solo e com as condições superficiais deste solo.

Pneus com baixa pressão de inflação tendem a ter maior área de contato com o solo, fornecendo ao trator maior capacidade tratória. Corrêa (2000) observaram uma tendência de melhoria na capacidade tratória, quando os pneus estavam inflados na pressão recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram diferenças expressivas do uso da pressão correta, em relação às altas pressões de inflação, com redução de 11,5% na patinagem e de 3,2% no consumo de combustível do trator. Os autores obtiveram, ainda, um aumento de 3,7% na potência na barra de tração e de 4,4% na capacidade operacional, com o uso da pressão recomendada pelo fabricante de pneus comparado com a pressão baixa em pneus diagonais.

Lanças et al. (2009) observaram, em seu trabalho, que um dos principais objetivos da correta calibragem dos pneus agrícolas é melhorar a capacidade de

tração dos tratores agrícolas. Esses autores apresentam, em seus trabalhos, que 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. Este tipo de ação permite reduzir a patinação das rodas e aumentar a vida útil dos pneus. A pressão de inflação dos pneus incorreta, seja ela insuficiente ou excessiva, resultará numa operação menos produtiva e com maior custo.

2.3 Lastragem

Monteiro, Lanças e Gabriel Filho (2009), demonstraram que, quando respeitadas as corretas relações de peso e potência, para as diferentes atividades agrícolas, são obtidos melhores desempenhos operacionais, aumento da eficiência tratorial, manutenção da patinação em um nível desejável e menor ruptura do solo por cisalhamento, fatores estes que contribuem para um melhor desempenho energético do trator.

Além de contribuir com a alteração do peso total do trator, a lastragem, também, deve servir para manter uma distribuição de massas adequada para permitir maior eficiência tratorial. Corrêa (2000) obtiveram melhores resultados de desempenho de tração com 40% da massa do trator no eixo dianteiro.

Lopes et al. (2003), estudando o consumo de combustível de um trator agrícola de 89 kW, verificaram que o aumento do lastro líquido do trator proporcionou uma diminuição no consumo horário por volume, estando o trator montado em pneus diagonais e com velocidade de deslocamento de 5 kmh^{-1} .

Os autores Damanauskas e Janulevičius (2015), usando um trator de 82,3 kW, tracionando uma grade de disco da marca Bury KBT de 32 discos, variando o uso ou não da tração dianteira auxiliar, TDA, lastro do trator de 0 a 520 kg e sua pressão de inflação de 80, 130, 180. 230 kPa constataram que houve aumento do consumo de combustível e eficiência da tração, contudo a patinação diminuiu, ocorrendo o mesmo comportamento, para todas as pressões

internas do pneu, tanto com ou sem o uso da TDA, onde a lastragem que conferiu o menor consumo de combustível com a TDA ligada foi de 0 kg de lastro e pressão de inflação de 80 kPa.

2.4 Patinagem

Goering et al. (2003) definiram patinagem como a diferença entre as velocidades de deslocamento teórica e real, normalizada pela velocidade teórica. É um fenômeno decorrente dessa interação rodado-solo e tem significativa influência sobre o desempenho operacional dos tratores. O deslizamento ocorre, quando a velocidade de deslocamento teórica (velocidade rotacional das rodas motrizes) não é inteiramente convertida em deslocamento e torna-se superior à velocidade translacional ou real. Taxas elevadas de deslizamento nas operações agrícolas acarretam uma redução da eficiência tratorial e um consequente aumento do consumo de combustível (FURTADO JÚNIOR, 2013).

Nos tratores agrícolas, a patinagem dos rodados ocorre por diversos 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, conforme relatado por Herzog et al. (2002).

Segundo Mialhe (1996), a patinagem das rodas motrizes dos tratores pode ser obtida pela diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator, tracionando um equipamento e aquele que seria obtido, nas mesmas condições, depois de desacoplado o equipamento.

Monteiro, Lanças e Gabriel Filho (2009), ao avaliar o avanço cinemático de um trator com potência nominal no motor de 63 kW, concluíram que os menores valores de patinagem, consumo específico de combustível e maior potência na barra de tração foram obtidos na condição de 3% de avanço do trator. Na condição de 12% de avanço do trator, ele apresentou os maiores

valores de patinação, consumo específico de combustível e menor potência útil na barra de tração.

Segundo Lanças e Upadhyaya (1997), a patinação é fundamental para que a tração aconteça, porém os seus valores não devem ultrapassar determinados limites, para que não ocorram perdas de aderência, que resultam na redução da tração dos rodados. Segundo a norma OCDE - Code 2... (2012), a patinação máxima, durante o ensaio de tratores agrícolas com rodados pneumáticos, deve ser limitada em 15%.

2.5 Consumo de combustível

No que diz respeito ao desempenho energético, a maneira mais técnica de se expressar o consumo de combustível é em unidade de massa por unidade de potência (g.kWh^{-1}). Essa forma é conhecida como consumo específico e pelo fato de considerar a massa e a potência, pode ser usada para comparar motores e tratores de tamanho e formas diferentes (LOPES et al., 2003).

De acordo com Mialhe (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida constitui-se um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do seu desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo (L.h^{-1} ; kg.h^{-1} , etc) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico = g cv h^{-1} ; g kW h^{-1} , etc). O consumo horário, geralmente, é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração a qual pode ser expressa em termos ponderais (kg h^{-1}) ou volumétrico (Lh^{-1}).

Os autores Silva e Benez (1997) relatam que o monitoramento do desempenho do trator é algo de extremo interesse e que objetiva otimizar sua utilização, para aumentar a eficiência de utilização do combustível, no intuito de

maximizar a quantidade de trabalho produzido por unidade de combustível consumido.

Segundo Montanha et al. (2012), utilizando um trator de 88 kW em dois tipos distintos de solo e duas pressões de inflação, em que o trator estava puxando um canteirador de algodão, o menor consumo de combustível, em ambos os solos, foi na pressão de 124 kPa, estando na faixa de 18 l/h

2.6 Força na barra de tração

A barra de tração de tratores agrícolas se caracteriza por ser um elemento específico deste veículo, permitindo o engate de máquinas e implementos que necessitam serem tracionados para realizarem trabalho ou para transporte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

A tração gerada pelos rodados é um meio de transformação energética de baixa eficiência, porém, ainda, é o método mais utilizado, para realizar as operações agrícolas necessárias, para a condução das culturas. As principais causas da perda de potência ou força no rodado são: o sistema de direção do trator, a resistência ao rolamento dos rodados, as perdas por atrito com o solo, as deflexões do dispositivo de tração (rodado) e do solo em contato com o mesmo (LANÇAS; UPADHYAYA, 1997).

A transformação da energia química, contida nos combustíveis, em energia mecânica possibilita que um trator possa fornecer força tanto pela tomada de potência como por meio de seu sistema hidráulico; porém é pela barra de tração que a utilização dessa energia gerada é mais usual, pois permite tracionar máquinas e equipamentos agrícolas (SRIVASTAVA; GOERING; ROHRBACH, 1996).

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 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 (ZOZ; GRISSO, 2003).

Várias são as situações e condições que podem influenciar a tração e uma das principais é o solo, em função das suas propriedades e condição da superfície. As condições do solo que afetam a eficiência de tração de um trator agrícola são a textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre o mesmo (YANAI et al., 1999). Outro fator importante, na avaliação do desempenho do trator e que está relacionado com o desempenho na barra de tração é o consumo horário de combustível. Conforme Jenane, Bashford e Monroe (1996), dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível é obtido, quando a patinação está entre 10 e 15%, para tratores com tração dianteira auxiliar. Entretanto a ASAE EP496. 2 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1999) relata que, em solos firmes, o melhor desempenho de trator ocorre, quando a patinação está entre 8 e 12%, para tratores com tração dianteira auxiliar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados, na fazenda experimental Palmital, pertencente à Universidade Federal de Lavras, compreendida entre as coordenadas 21° 16" S e 44° 92" W a 853 metros de altitude. Nesta região, o clima é classificado como Cwa, segundo Köppen-Geiger, temperado úmido com inverno seco, com temperatura média de 20,4° C e a pluviosidade média anual de 1508 mm.

3.1 Materiais

Abaixo são descritos os materiais utilizados na coleta de dados do experimento.

3.1.1 Tratores

Para realização do trabalho, foram utilizados dois tratores, um de tração e um de freio, ligados por um cambão e uma célula de carga. O trator freio foi utilizado para simular um implemento agrícola.

3.1.1.1 Trator de tração

O trator de tração utilizado foi um A950 Valtra 4x2 TDA com 95 cv (69,8 kW) a 2200 rpm, segundo a norma ISO TR 14396, montado em pneus traseiros diagonais marca Firestone modelo Super All Traction com medidas de 18.4 – 34 R-1 e montado, em pneus dianteiros marca Goodyer modelo Dyna torque II com medidas de 14.9 – 24 R – 1 e operando na marcha L2 com caixa de marchas normal, com velocidade teórica de 3,6 Km/h na rotação de 1750 rpm. A massa total desse trator é de 46,6 kN com os lastros metálicos. Durante a realização dos testes, o trator permaneceu com a tração dianteira auxiliar acionada e o bloqueio do diferencial desligado.

3.1.1.2 Trator freio

O trator utilizado para freio foi um Agrale BX 6110 4x2 TDA com 105 cv (77,2 kW) a 2.300 rpm montado em pneus traseiros 23.1 – 30 R1 dianteiros 14.9 – 24 R1, operando na marcha 2º B com velocidade de, aproximadamente, 2 Km/h na rotação de 800 rpm (baixa rotação). A massa total do trator com os lastros era de 66,62 kN. O trator freio permaneceu com a TDA e o bloqueio do diferencial desligados. O comboio de ensaio utilizado pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Comboio utilizado na realização dos ensaios.



Fonte: Dados do autor (2016)

3.1.2 Célula de carga

Foi utilizada uma célula de carga marca HBM U1 de 5 ton, conectada à barra de tração do trator com o auxílio de um berço, o qual foi projetado, para permitir apenas o movimento da célula de carga em um eixo e, também, a rápida retirada do cambão para a realização das manobras.

O berço foi criado de modo que a força na barra de tração fosse transmitida para a célula de carga. O pino, que prende a barra de tração ao trator, foi retirado, sendo a célula de carga a ligação entre o trator de tração e o trator freio.

O conjunto pode ser observado na Figura 3:

Figura 3 - Célula de carga conectada ao trator.



Fonte: Dados do autor (2016)

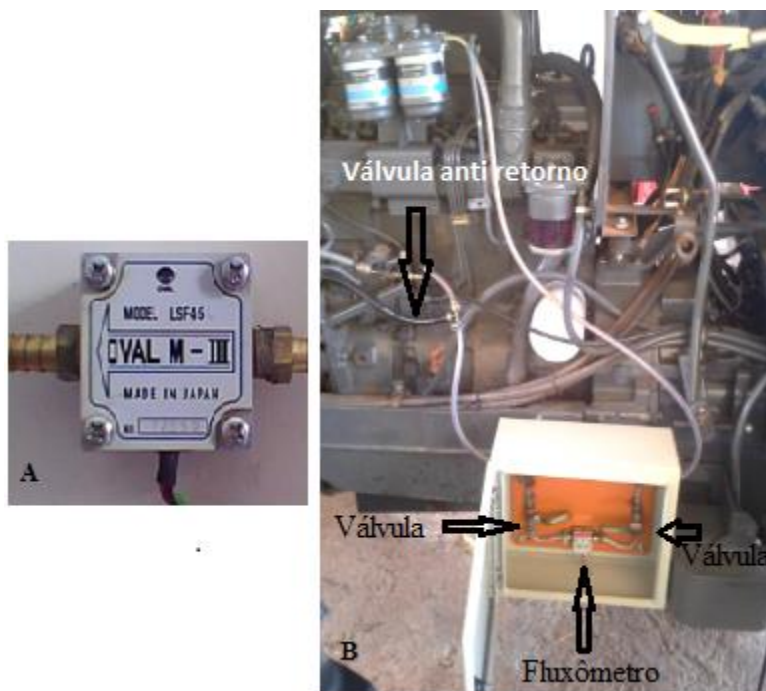
3.1.3 Fluxômetro

O fluxômetro utilizado foi o LSF 45 marca Oval M-III, a ligação ao sistema de alimentação do trator foi feita de modo que o medidor ficasse, após os filtros de combustível e antes da bomba injetora, os retornos de combustível foram redirecionados e conectados, após o fluxômetro e inserida uma válvula antirretorno, assim, deixando o sistema isolado, não correndo o risco de medidas superdimensionadas.

O fluxômetro pode ser ligado e desligado do sistema de combustível por meio de uma ligação feita em paralelo ao sensor, assim, o sensor somente era ligado no momento da coleta de dados.

A figura, a seguir, demonstra todos os equipamentos ligados ao sistema de combustível.

Figura 4 - Fluxômetro utilizado para medição do consumo. Figura 4(b): Ligação do fluxômetro ao sistema de alimentação do trator.



Fonte: Dados do autor (2016)

A figura abaixo demonstra o esquema de ligação do fluxômetro ao sistema de combustível do trator.

Figura 5 - Esquema de ligação do Fluxômetro.



Fonte: Dados do autor (2016)

3.1.4 Data Logger

Foram utilizados dois data loggers no experimento, sendo um modelo HBM Spider 8, utilizado, para aquisição dos dados da célula de carga e outro marca Incon CD 400, para aquisição dos dados do fluxômetro.

3.1.4.1 Incon CD 400

O data logger Icon CD 400, Figura 7, foi utilizado para a leitura do fluxômetro em tempo real e foi ligado, diretamente, à bateria do trator. Sua voltagem de trabalho era 12 volts, os valores foram registrados em Lh^{-1} , não necessitando conversão para o consumo volumétrico.

Figura 6 - Data Logger Incon CD 400.



Fonte: Corrêa Júnior (2016)

3.1.4.2 HBM Spider 8

O data logger HBM Spider 8, Figura 8, foi usado, para armazenar os dados da célula de carga, como seu funcionamento é em 127 v, foi utilizado um conversor 12-127 volts ligado à bateria do trator. Os valores foram armazenados em $mV.V^{-1}$.

Figura 7 - Data logger HBM Spider 8.



Fonte: Corrêa Júnior (2016)

3.2 Métodos

No trabalho em questão, foram analisados a força na barra de tração, a patinagem, o consumo volumétrico e específico de combustível. O solo foi irrigado, por meio de um pivô, para se manter em capacidade de campo.

O experimento foi conduzido em 45 parcelas com área individual de 120 m² (30m x 4m) e, entre as parcelas, deixou-se um intervalo de 19 m, para a realização de manobras e o trânsito de máquinas. Os tratamentos consistiram em 5 pressões de inflação dos pneus e 3 lastragens do trator, de acordo com a tabela abaixo:

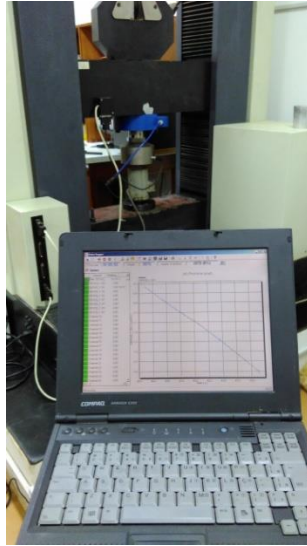
Tabela 1 – Tratamentos.

PRESSÃO	TRASEIRA	DIANTEIRA	
P1	82,74 kPa (12psi)	69,95 Kpa (10 psi)	
P2	96,53 kPa (14 psi)	82,74 kPa (12 psi)	
P3	110,32 kPa (16 psi)	96,53 kPa (14 psi)	
P4	124,11 kPa (18 psi)	110,32 kPa (16 psi)	
P5	137,90 kPa (20 psi)	124,11 kPa (18 psi)	
LASTRO	TRASEIRA	DIANTEIRA	TOTAL
L1	2 ARCOS (3,33 kN)	6 PESOS (2,21 kN)	47,5 kN
L2	1 ARCO (1,65 kN)	3 PESOS (1,12 kN)	44,67 kN
L3	0 ARCO	0 PESO	41,85 kN

3.2.1 Determinação da força na barra de tração

A quantificação da força na barra de tração foi feita com o auxílio de uma célula de carga acoplada à barra de tração do trator. Os dados transmitidos, para o data logger Spider 8, foram obtidos em mV.V⁻¹. A calibração da célula de carga foi realizada em máquina de ensaio universal, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da UFLA, conforme a Figura 8 e conectada à máquina de ensaio universal, conforme a Figura 9.

Figura 8 - Calibração da célula de carga por meio de máquina de ensaio universal.



Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 9 - Acoplamento da célula de carga à máquina de ensaio universal.



Fonte: Dados do autor (2016)

Foi usada a regressão, para criar uma equação que se ajusta aos dados, assim, os dados em $mV.V^{-1}$ foram transformados em Newton, segundo a equação 1:

$$F = 875,0749 - 25629,4828 * V \quad (1)$$

Em que:

$F = \text{Força na barra de tração (N)}$

$V = \text{Voltagem lida pelo datta logger (mV.V}^{-1}\text{)}$

Com correlação de 94,2 %

3.2.2 Determinação da potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi calculada, em função da força na barra de tração, obtida pela célula de carga e o valor da velocidade de deslocamento teórica do trator com a patinagem, de acordo com a equação 2 a seguir:

$$Pb = Ft * v1 \quad (2)$$

Em que:

$Pb = \text{Potência na barra de tração (kW)}$;

$Ft = \text{Força de tração (kN)}$;

$v1 = \text{Velocidade de deslocamento do trator (m s}^{-1}\text{)}$.

3.2.3 Determinação da patinagem

A patinagem foi medida, de acordo com o tempo que o trator motriz levava, para percorrer toda a parcela de 30 metros, antes e após a acoplagem do trator freio. Com a diferença de tempos, foi caracterizada a patinagem do trator, de acordo com a equação 3 abaixo:

$$P_{(\%) } = \frac{t_0 - t_1}{t_0} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

t_0 = Tempo para percorrer 30 metros sem carga

t_1 = Tempo para percorrer 30 metros com carga

3.2.4 Determinação do consumo volumétrico de combustível

O consumo volumétrico de combustível foi resultante da média dos valores obtidos na parcela.

Como o data logger CD 400 registra todos os valores em Lh^{-1} , não houve necessidade de conversão. Para a verificação da calibração, um experimento prévio foi realizado, para comprovação dos valores fornecidos pelo fluxômetro, no qual foi preparada uma bancada de ensaio de madeira, conforme a Figura 10, com o objetivo de avaliar e aferir o fluxômetro durante passagem de combustível pelo sistema. A bancada era constituída de sensores de vazão de líquidos, filtros de metal (utilizados para filtragem de impurezas do óleo diesel), bomba de 12v para bombeamento do líquido (utilizada em para-brisas de automóveis), mangueiras de $\frac{1}{2}$ polegada e garrafa pet (utilizada para armazenamento do combustível a ser bombeado). Simulou-se o funcionamento de um motor diesel de trator agrícola, assim, aferindo a quantidade de combustível contabilizada pelo sistema. Foi utilizada, para a determinação do volume, uma proveta de medição com graduação com capacidade de 1.000 mL.

Figura 10 - Bancada de testes para calibração do fluxômetro.



Fonte: Corrêa Júnior (2016).

3.2.5 Determinação do consumo específico de combustível

Para expressar o consumo por unidade de potência na barra de tração foi utilizada a equação 4 a seguir:

$$Cec = \frac{Ch * \delta}{Pb} * 1000 \quad (4)$$

Em que:

Cec = Consumo específico ($g kWh^{-1}$)

δ = Massa específica do combustível em função da temperatura ($g mL^{-1}$)

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

Pb = Potência na barra de tração (kW)

1000 = Fator de conversão

A massa específica do combustível foi mensurada, no Laboratório de biocombustíveis, pertencente à Universidade Federal de Lavras, para as temperaturas de 10 a 40 °C. Após a regressão linear dos dados, foi obtida a seguinte equação 5:

$$\delta = 0,832195 - 0,0004071 * T \quad (5)$$

em que:

δ – Massa específica do combustível, g mL⁻¹

T - temperatura do combustível, °C

Com correlação de 96,6%

A temperatura foi obtida, no interior do tanque de combustível do trator de tração, no momento da obtenção dos dados de campo, Figura 12 e mensurada, por meio de um sensor de temperatura de líquidos, Figura 11.

Figura 11 - Termômetro digital para a coleta da temperatura do diesel.



Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 12 - Coleta da temperatura em campo.



Fonte: Dados do autor (2016).

3.2.6 Propriedades físicas do solo

Foi coletada uma amostra do solo em 5 pontos distintos da unidade experimental e levada ao Laboratório de Ciência dos Solos da Universidade Federal de Lavras, para verificar as propriedades físicas do solo, obtendo o resultado, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Propriedades físicas do solo.

Classificação do solo	Argila	Silte	Areia
Solo tipo 3	48	9	43

O solo do tipo 3 foi considerado argiloso.

3.2.7 Umidade de capacidade de campo

A umidade de capacidade de campo foi mensurada antes, por meio de uma amostra deformada do solo da unidade experimental, colocada em um balde perfurado, nas laterais, para ocorrer a drenagem natural, ficando os macroporos todos preenchidos de água. Após serem saturados com água, a umidade foi

medida e foram sendo retiradas amostras do balde, para mensurar a umidade pelo método da estufa, nos instantes de 24 e 48 horas, após a saturação do solo, Figura 13. Para cada amostra retirada do balde, foi feita uma leitura com o sensor elétrico, a umidade de capacidade de campo ficou constante, na leitura de $150 \text{ m}^3/\text{m}^3$ no aparelho, sendo este valor correspondente a 30% de umidade pelo método da estufa.

Figura 13 - Coleta do valor da capacidade de campo em balde perfurado.



Fonte: Dados do autor (2016)

Após a mensuração do valor da capacidade de campo, a área experimental foi irrigada, conforme a Figura 14, de modo que o solo ficasse o mais próximo possível do valor encontrado em laboratório.

Figura 14 - Irrigação com pivo central.



Fonte: Dados do autor (2016).

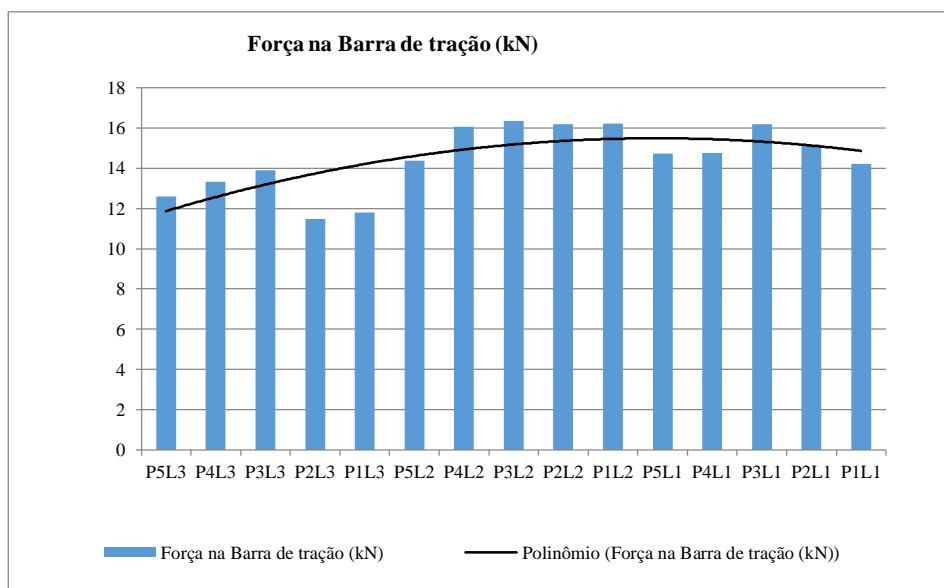
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados abaixo são apresentados em gráficos e tabelas de acordo com cada tópico e cada valor analisado.

4.1 Força na barra de tração

Os valores para força na barra de tração para as 3 lastragens e as 5 pressões são descritos abaixo:

Gráfico 1- Valores para força na barra de tração (kN)



Conforme o Gráfico 2, os maiores valores de força na barra de tração foram encontrados, nos lastros L1 e L2; já, para as pressões, seguiu a tendência de menores pressões terem as maiores forças na barra de tração, quando o trator estava em L3. A força na barra de tração ficou prejudicada, ficando todos os valores abaixo das lastragens L2 e L1, em qualquer pressão.

Segundo Spagnolo (2010), os valores da pressão P5 obtiveram maiores valores que os da P3 com o trator com todos os lastros, fato que não foi compartilhado, no presente trabalho, estando o trator com o lastro L1; já, nos lastros L2 e L3, os comportamentos da força na barra de tração foram semelhantes ao encontrado por Spagnolo.

Os valores para força na barra de tração para a interação entre as 5 pressões de inflação e os 3 lastros utilizados estão descritos na Tabela 4 abaixo:

Tabela 3 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para força na barra de tração (kN)

Massa	Pressão de inflação				
	83/70 kPa	97/83 kPa	110/97 kPa	124/110 kPa	138/124 kPa
47,5 kN	14,22bA	15,61bA	16,16aA	13,98aA	14,72aA
44,67 kN	16,22bA	16,19bA	16,33aA	15,95aA	14,38aA
41,85 kN	11,79aA	11,48aA	13,89aA	13,31aA	12,58aA

Em cada linha, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas e, em cada coluna, médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 4, os valores de pressão no lastro não obtiveram diferença estatística em nenhuma das pressões estudadas.

Para os valores de lastro na pressão, os lastros L1 e L2 obtiveram os maiores valores de força na barra de tração, para as pressões P1 e P2, mostrando a influência do lastro na força na barra de tração nas menores pressões de inflação. Nas pressões restantes não houve diferença significativa para os lastros.

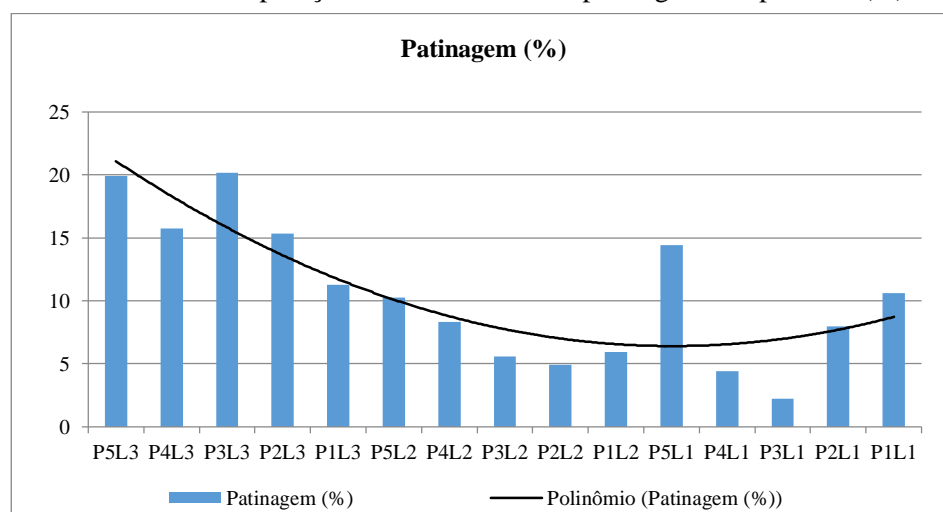
Segundo Spagnolo (2010), na pressão P5, quando reduzido de 92,55% para 74,18% da lastragem, a força na barra de tração diminuiu, aproximadamente, 8%. No presente trabalho, quando a lastragem passou de 94% para 88%, a força na barra de tração diminuiu 13%. Já, para a pressão P3 no mesmo caso, a força na barra de tração diminuiu 7%, sendo, aproximadamente, a

metade do valor encontrado, neste estudo, que foi de 15%, fator que pode ser justificado pelo terreno estar em capacidade de campo, reduzindo, consideravelmente, a força na barra de tração.

4.2 Patinagem

Os valores, para a patinagem do trator, nas 5 pressões e nas 3 lastragens, estão descritos no gráfico abaixo:

Gráfico 2 - Comparação entre os índices de patinagem nas parcelas (%)



Fonte: Dados do autor (2016).

Pelo Gráfico 1 pode-se notar a influência da pressão e lastro na patinagem, com os lastros L1 e L2 e com as pressões P2, P3 e P4 a patinagem ficou abaixo de 10%, sendo considerada uma patinagem dentro do limite adequado de trabalho. O inverso, também, justificou-se, visto que quanto menor o lastro e maior a pressão, maior a patinagem, tendendo a crescer, chegando a valores superiores a 15%, quando o trator estava sem os lastros metálicos.

Tabela 4 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para patinação (%).

Massa	Pressão de inflação				
	83/70 kPa	97/83 kPa	110/97 kPa	124/110 kPa	138/124 kPa
47,5 kN	10,63bB	7,98aB	2,21aA	4,41aA	14,41bC
44,67 kN	5,9 aA	4,92aA	5,53aA	8,32bB	10,23aB
41,85 kN	11,26bA	15,34bB	20,18bC	15,73cB	19,87cC

Em cada linha, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas e, em cada coluna, médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 3, na interação pressão no Lastro L1 (47,5 kN), as menores patinagens foram nas pressões P3 e P4 e a maior na pressão P5. No lastro L2 (44,67 kN), as 3 menores pressões obtiveram as menores patinagens, já, no lastro L3 (41,85 kN), a menor patinação foi na menor pressão P1.

Para os valores da interação lastro nas pressões, a pressão P1 obteve a menor patinação na lastragem L2; nas pressões P2 e P3, as menores patinagens foram verificadas, nas duas maiores lastragens L2 e L3; na pressão P4, a menor patinação foi obtida com o Lastro L3 e, na pressão P5, a menor patinação foi na lastragem L2.

Segundo Yanai et al. (1999), há uma tendência da diminuição da patinação com o acréscimo do lastro, até certo ponto, fato, também, observado com a retirada de todos os lastros metálicos do trator, o qual não transferiu a potência ao solo para gerar movimento do trator, aumentando sua patinação.

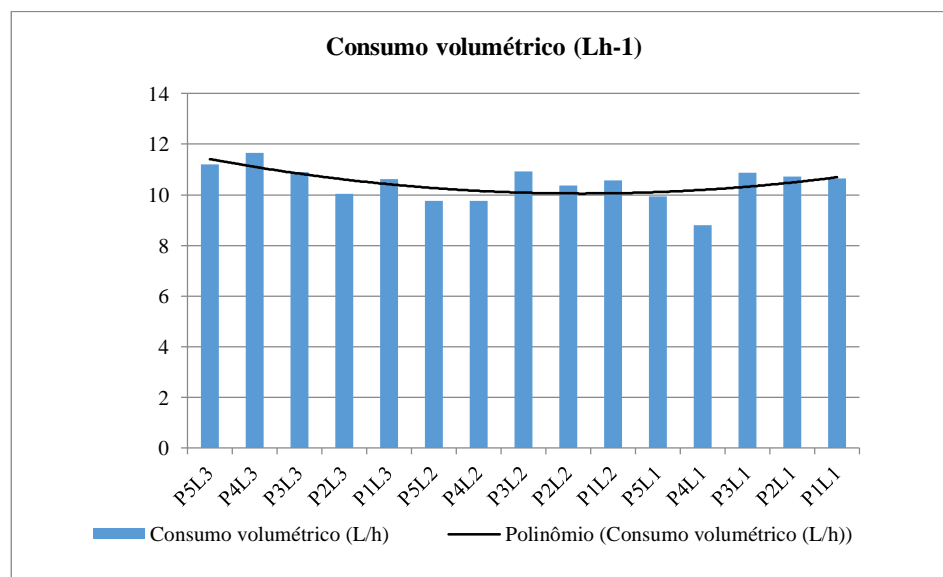
Yanai et al. (1999), ainda, mostra que a diminuição da pressão de inflação de 138k Pa para 110 kPa acarretou um aumento de 33% na patinação. No presente trabalho, a patinação diminuiu de forma significativa na pressão de 110 kPa e para 138 kPa, tanto para L1 quanto para L2 foram menores; já, no L3, a diminuição da pressão de inflação não obteve significância estatística.

Tais valores mostram que, para solo em capacidade de campo, o controle da lastragem do trator obteve maior efeito que a diminuição da patinação.

4.3 Consumo volumétrico de combustível

Os valores, para o consumo volumétrico de combustível, para os 3 lastros e as 5 pressões, estão demonstrados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Resultado médio do consumo volumétrico de combustível (Lh^{-1})



Segundo o Gráfico 3, nos valores de consumo volumétrico de combustível não houve nenhuma influência das pressões e do lastro no consumo, ainda assim, o consumo desempenhado foi satisfatório, ficando na faixa de 9 a 12 Lh^{-1} .

Na Tabela 5 são apresentados os valores, para as interações pressão e lastro, para consumo volumétrico de combustível.

Tabela 5 - Interação entre lastro e pressão de inflação para consumo volumétrico de combustível (Lh^{-1}).

Massa	Pressão de inflação				
	83/70 kPa	97/83 kPa	110/97 kPa	124/110 kPa	138/124 kPa
47,5 kN	10,64 aB	10,73 aB	10,87 aB	8,81 aA	9,94 aB
44,67 kN	10,56 aA	10,37 aA	10,92 aA	9,77 aA	9,75 aA
41,85 kN	10,63 aA	10,05 aA	10,90 aA	11,66 bA	11,19 bA

Em cada linha, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas e, em cada coluna, médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

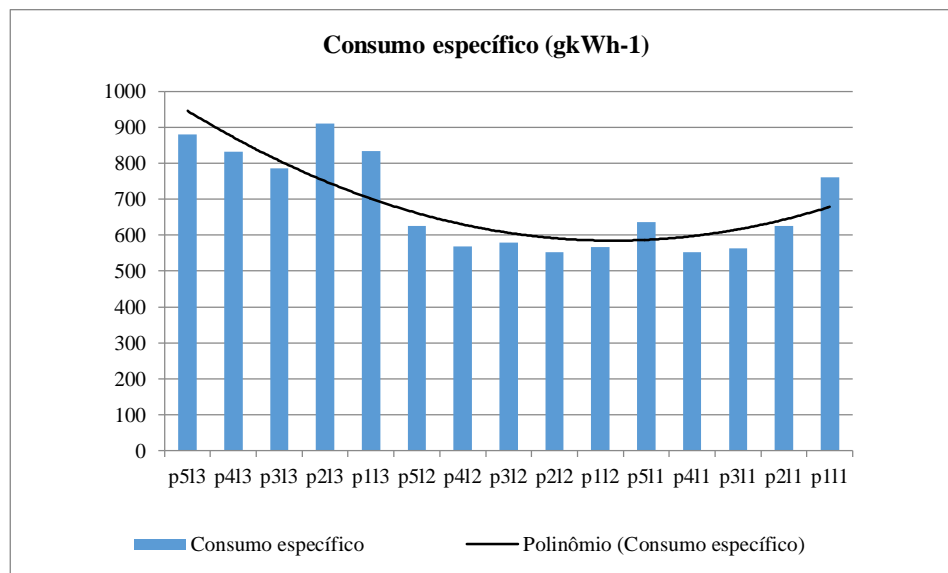
De acordo com a Tabela 5, para os valores de pressão no lastro, o lastro L1 obteve o menor consumo, na pressão P4; já, para os lastros L2 e L3, não se obteve diferença significativa.

Para interação lastro na pressão, os únicos valores que obtiveram diferença significativa foram as pressões P4 e P5, quando o trator estava sem lastro, assim, obtendo os maiores consumos específicos.

Monteiro, Lanças e Guerra (2011) verificou que com o aumento da lastragem não houve evidência estatística, para aumento no consumo volumétrico de combustível, fato, também, verificado por Spagnolo (2010). Contudo no presente estudo, as pressões de P4 e P5 obtiveram diferenças estatísticas, no consumo no lastro L1, mostrando a influência do lastro no consumo volumétrico.

4.4 Consumo específico de combustível

Os valores de consumo específico de combustível para os 3 lastros e as 5 pressões estão mostrados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Consumo específico de combustível (g kWh⁻¹).

Fonte: Dados do autor (2016).

De acordo com o Gráfico 4, pode-se notar que os menores valores de consumo específico de combustível foram encontrados em L2, também, constatados os menores valores de patinação e maior força na barra de tração neste lastro.

Tabela 6 - Interação entre Lastro e pressão de inflação para consumo específico de combustível (g kWh⁻¹)

Massa	Pressão de inflação				
	83/70 kPa	97/83 kPa	110/97 kPa	124/110 kPa	138/124 kPa
47,5 kN	760,44aA	610,26aA	563,44aA	539,67aA	635,44aA
44,67 kN	579,81aA	551,71aA	579,81aA	546,68aA	626,12aA
41,85 kN	833,52aA	909,73bA	786,47aA	832,72bA	879,25bA

Em cada linha, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas e, em cada coluna, médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade

Conforme a Tabela 6, os valores de pressão no lastro não obtiveram diferenças significativas em nenhum dos dados analisados.

Para os valores de lastro na pressão, os valores que obtiveram diferença significativa foram para as pressões P2, P4 e P5 cujos maiores valores foram constatados na lastragem L3, mostrando a influência da lastragem no consumo específico.

Monteiro, Lanças e Guerra (2011) verificou que com o aumento da lastragem houve diminuição no consumo específico de combustível, fator observado, quando o trator trabalhou na lastragem L3 com as pressões P2, P4 e P5, onde, com a diminuição da lastragem, aumentou o consumo específico.

Spagnolo(2010) verificou que nas pressões P3 e P5 não houve diferença significativa entre os lastros estudados; contudo, na pressão P5 sem lastro, houve aumento do consumo específico de combustível, neste estudo, verificando-se, assim, a influência da lastragem no consumo específico de combustível, como verificado por Monteiro, Lanças e Guerra (2011).

5 CONCLUSÃO

Segundo os dados analisados, houve forte influência da lastragem em todos os dados, mostrando que, em solo em capacidade de campo, a massa do conjunto tem grande influência nos fatores. As pressões estudadas mostraram pouca influência no resultado, visando à melhor eficiência do trator. As lastragens L2 e L3 mostraram ser a melhor escolha, para o solo em capacidade de campo, quanto à pressão e o uso da pressão P3 mostrou ser a mais eficiente dentre os fatores estudados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE standards: standards engineering practices data. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1999. p. 353-358.

ASHBURNER, J. E.; SIMS, B. G. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José: IICA, 1984. 437 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR7011**: tratores agrícolas – características e posição da barra de tração. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 3 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA. **Carta da ANFAVEA**, São Paulo, n. 345, p. 1-12, fev. 2015. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/cartas/carta345.pdf>>. Acesso em : 23 set. 2015.

CODE 2: OCDE standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. [S.l.: s.n.], 2012. 91 p.

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 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CZARNOMSKI, N. M. et al. Precision and accuracy of three alternative instruments for measuring soil water content in two forest soils of the Pacific Northwest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, n. 8, p. 1867-1876, Aug. 2005.

DAMANAUSKAS, V.; JANULEVIČIUS, A. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 60, p. 63-73, Aug. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/glossario.htm>. Acesso em: 15 mar. 2009.

FERREIRA, M. F. et al. 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. 2000.

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração**. 2013. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GOERING, C. et al. Traction and transport devices. In: _____. **Off-road vehicle engineering principles**. Saint Joseph: ASAE, 2003. Cap. 13, p. 351-382.

HARTMANN, D. L. *Global physical climatology*. New York: Academic Press, 1994. 411 p.

HERZOG, R. L. S. et al. 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. 1 CD-ROM.

JENANE, C.; BASHFORD, L. L.; MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 64, n. 2, p. 131-138, June 1996.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

LANÇAS, K. P. et al. Efeito da pressão de inflação dos pneus no desempenho operacional de um trator agrícola. In: CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL y II DEL MERCOSUR, 10., 2009, Rosario. **Actas...** Rosario: UNR Editora, 2009. p. 763-768.

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores**: guia para a seleção correta da pressão de inflação. Botucatu: FCA, 1997. 33 p. (Boletim Técnico, 1).

LEE, D. R.; KIM, K. U. Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 187-208, May 1997.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005. 335 p.

LOPES, A. et al. 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.

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

MONTANHA, G. K. et al. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 44-59, abr./jun. 2012.

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. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 68- 84, 2009.

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

NETAFILM. **Palestra de fertirrigação do cafeeiro: resultados conclusivos para lavoura de alta tecnologia**. Bahia: [s.n.], 2015. 54 slides. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/cafeicultura/palestra-de-fertiirrigao-do-cafeiro-adolfomoura-fenicaf-2015>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

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. 12, p. 10-15, 1997.

SILVEIRA, G. M. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. 243 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SPAGNOLO, R. T. **Desempenho operacional de um trator agrícola em função da lastragem, pressão de insuflagem e vida útil do pneu**. 2010. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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.

TRINTINALHA, M. A. et al. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 353-360, 2004.

YANAI, K. et al. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1427-34, ago. 1999.

ZOZ, F.; GRISSE, R. D. **Traction and tractor performance**. Saint Joseph: Asae, 2003. 46 p.