

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

PHILIPPE LEAL REBELO

**ENSAIOS DE TRAÇÃO EM IMPLEMENTOS MONTADOS PARA ESTIMATIVA
DA DEMANDA ENERGÉTICA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE OPERACIONAL**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

PHILIPPE LEAL REBELO

**ENSAIOS DE TRAÇÃO EM IMPLEMENTOS MONTADOS PARA ESTIMATIVA
DA DEMANDA ENERGÉTICA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE OPERACIONAL**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.**

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Coorientadores: Anderson Cândido da Silva

Paulo Roberto Forastiere

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

PHILIPPE LEAL REBELO

**ENSAIOS DE TRAÇÃO EM IMPLEMENTOS MONTADOS PARA ESTIMATIVA
DA DEMANDA ENERGÉTICA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE OPERACIONAL**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.**

APROVADO: 09 de novembro de 2017.

Marconi Ribeiro Furtado Júnior
(orientador)
(UFV)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Geraldo e Solange, e aos familiares que direta ou indiretamente me forneceram suporte e acreditaram no meu potencial durante esta caminhada.

A Deus por ter me dado saúde para conquistar meus objetivos.

Aos Professores Marconi Furtado e Haroldo Fernandes, pela oportunidade, apoio, paciência, orientação, entusiasmo, gentileza e ensinamentos.

Aos Coorientadores e colegas da mecanização, Paulo Forastiere, Anderson Cândido, Diego Wesley, Tiago Mencaroni, pela amizade, paciência, orientação e ensinamentos.

À Universidade Federal de Viçosa pela minha formação, aprendizagem e crescimento pessoal e profissional.

Aos amigos, em especial, Eduardo Borenstain, Ranielli Oliveira, Júnior Cherigath e Lara Marques, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar sempre presentes em minha vida.

RESUMO

A eficiência de um trator agrícola pode ser medida pela versatilidade que este apresenta em fornecer potência a uma vasta gama de implementos e máquinas agrícolas. O motor do trator agrícola deve ser capaz de fornecer potência suficiente para suplantar a força exigida por implementos/máquinas agrícolas visando, sempre que possível, a um mínimo consumo de combustível. O conhecimento da demanda de força de tração é crucial para o processo de adequação entre trator e implemento. Objetivou-se com este trabalho avaliar a força de tração, o consumo horário de combustível e a patinação na operação com implementos montados utilizando um protótipo. Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e oito repetições cada. Os tratamentos constituíram-se de três velocidades para cada implemento. Os implementos utilizados foram: escarificador, semeadora-adubadora, arado e grade. Durante o ensaio, os implementos foram conectados a um protótipo desenvolvido especificamente para a realização de ensaios de implementos montados. Para tracionar o sistema protótipo-implemento foi utilizado um trator agrícola com tração dianteira auxiliar (TDA), com 85 cv (63 kW) de potência nominal no motor. Os parâmetros avaliados foram: força de tração, consumo horário de combustível e patinação dos rodados do trator. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou elevação da força de tração e patinação dos pneus, operando com o escarificador, semeadora-adubadora e grade destorroadora-niveladora. Entretanto, a operação com arado apresentou redução da força de tração e patinação. Todos os implementos apresentaram redução no consumo horário de combustível com aumento da velocidade.

Palavras-chave: Força de tração; Consumo de combustível; Patinação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1. Implementos	9
2.2. Teor de água no solo	10
2.3. Resistência do solo à penetração	10
2.4. Textura do solo.....	10
2.5. Densidade do solo	10
2.6. Equipamentos e instrumentação.....	11
2.7. Velocidade operacional do trator	11
2.8. Rotação dos eixos motrizes do trator	12
2.9. Patinação.....	12
2.10. Força de tração	13
2.11. Consumo de combustível	13
2.12. Protótipo para a realização de ensaios com implementos montados	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1. Caracterização da área experimental.....	15
3.3. Semeadora-adubadora.....	18
3.4. Grade destorroadora-niveladora.....	20
3.5. Arado de discos.....	22
3.6. Demanda energética.....	24
4. CONCLUSÃO	26
5. REFERÊNCIAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

Dentre os avanços tecnológicos advindos do processo de modernização da agricultura brasileira, a mecanização agrícola tem papel de destaque, uma vez que possibilitou a ampliação das áreas cultivadas, aumentando dessa forma os rendimentos da produção agrícola. Outro benefício importante na mecanização é aperfeiçoar o emprego da mão de obra no campo, pois, com o uso de processos mecanizados, o homem consegue obter uma produtividade superior à conseguida com trabalhos puramente manuais. A logística das atividades ao longo do ano agrícola também é facilitada devido ao elevado rendimento operacional dos conjuntos mecanizados, permitindo assim um melhor planejamento das atividades pelo agricultor. O trator agrícola aparece como principal fonte de potência no campo, caracterizando-se por ser uma máquina extremamente dinâmica e multifuncional, podendo ser utilizada em todas as operações, do plantio à colheita.

A força requerida por implementos deve ser suprida pela potência do motor do trator agrícola, tendo em vista sempre o menor consumo de combustível possível (KATHIRVEL et al., 2001; SIMIKIC et al., 2014). O trator agrícola ideal seria aquele capaz de disponibilizar a totalidade da potência do motor para a realização de trabalho mecânico, contudo há perdas de energia durante o funcionamento dos mecanismos de transmissão devido a atritos entre as peças, impossibilitando que o trator disponibilize sua potência total. Dessa forma, a energia obtida no processo de combustão dos motores é aproveitada parcialmente para a realização de trabalho pelos tratores, conforme relatado por Grisso et al. (2010).

Nas duas últimas décadas, devido à queda do protecionismo comercial, diversas montadoras de máquinas agrícolas estabeleceram-se no Brasil, o que ampliou o leque de produtos disponíveis aos agricultores. Contudo, deve-se atentar à qualidade desses produtos e certificar-se sobre a qualidade, segurança e desempenho destes. Uma forma de verificar se as características de determinada máquina atendem aos patamares aceitáveis é através da realização de ensaios. Estes consistem de procedimentos realizados sobre condições padronizadas e normatizadas, que analisam detalhadamente as características da máquina. Além de averiguar a qualidade, os ensaios têm a função de fornecer parâmetros para a melhoria, por parte dos fabricantes, e também auxiliar os produtores na seleção das máquinas/equipamentos mais adequados à sua condição (FAO, 1994; FALEYE et al., 2014).

Um ensaio muito comum executado em tratores agrícolas é o da barra de tração, que consiste em submeter o trator em estudo a diferentes cargas e analisar o desempenho do mesmo em tais condições. Uma análise básica e bastante esclarecedora é a determinação da eficiência na barra de tração e a razão de tração do trator. O primeiro consiste em determinar

o percentual da potência útil no motor que é convertido em trabalho na barra de tração e o segundo, no percentual do peso que pode ser convertido em força de tração pelo trator (ZOZ et al., 2002; FURTADO-JÚNIOR, 2013).

Os implementos tracionados/acionados pelos tratores agrícolas também são submetidos a ensaios para verificar, principalmente, a exigência de potência durante seu funcionamento. Para a realização de ensaios em implementos acoplados à barra de tração do trator, denominados implementos de arrasto, deve-se acoplar um transdutor de força intermediando a conexão entre trator e implemento, de forma similar à exposta em Monteiro et al. (2013). A execução de tais ensaios permite a elaboração de modelos matemáticos para a estimativa da potência necessária para o acionamento de diversos implementos (GREČENKO, 1968; KHEIRALLA et al., 2004; SAHU e RAHEMAN, 2008; MEHTA et al., 2011). Um conjunto destes modelos está disponível em ASABE (2011), onde os parâmetros de entrada são: largura de trabalho, profundidade de trabalho, velocidade operacional e textura do solo.

A força de tração requerida para o acionamento de implementos e máquinas montadas no sistema de levante hidráulico pode ser obtida experimentalmente por meio de um método denominado comboio. Neste método são utilizados dois tratores, sendo um responsável apenas por abaixar e levantar o implemento no solo, e outro por tracionar por meio de um cabo de aço o trator que suporta o implemento. Entre os dois tratores posiciona-se um transdutor para medir a força de tração. Numa primeira etapa, mede-se a força de tração requerida para tracionar o implemento e o trator que o suporta e, na segunda etapa do processo, determina-se a força para tracionar apenas o trator que suporta o implemento, sendo a diferença entre as duas determinações a força exigida apenas para a tração do implemento.

Apesar de ser uma prática consagrada e bastante utilizada, o comboio apresenta alguns pontos desfavoráveis, tais como: maior demanda de mão de obra, maior área para estabilização do conjunto, maior tempo para execução de manobras e a necessidade de dois tratores. Além disso, o dinamismo das forças resultantes da tração do implemento pode culminar na alteração do peso em cada eixo do trator em condição dinâmica, o que pode proporcionar erros na determinação da força de tração exigida pelos implementos (PORTESŠ et al., 2013).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a demanda energética, a força de tração, o consumo horário de combustível e a patinagem na operação com implementos montados, utilizando um protótipo desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola (Departamento de Engenharia Agrícola), da Universidade Federal de Viçosa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em uma área conduzida em sistema de cultivo direto pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada no município de Viçosa, Minas Gerais. Foi avaliada a demanda energética para o acionamento de implementos agrícolas utilizando um protótipo desenvolvido para a realização de ensaios em implementos montados no Laboratório de Mecanização Agrícola da UFV. Na realização dos experimentos foram utilizados os seguintes implementos montados: arado de discos, grade, semeadora-adubadora e escarificador. Na operação da semeadora-adubadora, o solo foi previamente preparado com uma aração e duas gradagens (cultivo convencional); na operação da grade, o solo foi previamente preparado com uma aração, e o ensaio dos demais implementos foi realizado no sistema de plantio direto.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e oito repetições cada. Os tratamentos foram constituídos do aumento da velocidade média, através da troca de marcha, para todos os implementos e a rotação do motor foi mantida em 2250 rpm. O experimento foi realizado em área plana com parcelas de 20 m de comprimento e 2 m de largura. As marchas utilizadas e as velocidades médias operacionais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Marchas, velocidades e profundidades médias teóricas utilizadas para cada implemento.

Implementos	Arado			Grade			Semeadora			Escarificador		
Marcha	2A	1B	2B	1B	2B	3B	3A	1B	2B	1B	2B	3B
Velocidade Média (m s^{-1})	0,7	1,2	1,8	1,2	1,8	2,4	1,1	1,2	1,8	1,2	1,8	2,4
Profundidade de trabalho	22 cm			10 cm			7 cm			17 cm		

2.1. Implementos

Foi utilizado um escarificador da marca Massey Ferguson®, modelo 226, com 5 hastes espaçadas em 0,3 m, fornecendo uma largura de trabalho teórica de 2,5 m; um arado de discos, com 3 discos, fornecendo uma largura de trabalho teórica de 0,7 m e profundidade de 22 cm; uma grade da marca BIA Baldan®, destorroadora-niveladora com 24 discos, fornecendo uma largura de trabalho teórica de 1,5 m; e uma semeadora-adubadora da SEED-MAX, modelo PC2123, com 3 linhas espaçadas em 45 cm e profundidade de 7 cm.

Todos os implementos foram acoplados ao protótipo por meio do sistema de levante hidráulico de três pontos.

2.2. Teor de água no solo

Utilizou-se o método gravimétrico padrão, com base na massa de terra seca em estufa à temperatura de 105 – 110° C até atingir massa constante, conforme EMBRAPA, (2011). Na condução do experimento, foram realizadas amostragens do solo para a determinação do teor de água. A amostragem foi realizada no dia da execução do experimento, coletando dez amostras na linha onde foram executados os tratamentos.

2.3. Resistência do solo à penetração

Utilizou-se um penetrômetro digital, modelo PNT-2000 (Figura 1). A coleta de dados foi realizada no dia da execução do experimento, em trinta pontos dentro da parcela experimental. A profundidade de amostragem foi em função da profundidade máxima de trabalho do implemento (0 – 30 cm).



Figura 1. Vista frontal do penetrômetro utilizado para obter a resistência à penetração do solo.

2.4. Textura do solo

A análise da composição textural foi realizada nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2011). Foram coletadas três amostras por unidade experimental, na profundidade de atuação do implemento.

2.5. Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada na camada média correspondente a profundidade máxima de atuação do implemento (0 - 15 cm) e (15 – 30 cm), utilizou-se o método do anel volumétrico, descrito pela EMBRAPA (2011). As amostras foram coletadas e acondicionadas

em cápsulas de alumínio, lacradas com fita adesiva até a análise no laboratório. A amostragem foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, sendo retiradas três amostras por parcela experimental.

2.6. Equipamentos e instrumentação

Utilizou-se um trator John Deere[®] (Figura 2), modelo 5705 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), com potência de 62,56 kW (85 cv) no motor a 2250 RPM, o qual recebeu instrumentação necessária para a condução do trabalho.



Figura 2. Trator John Deere modelo 5705 utilizado nos ensaios.

O trator recebeu um conjunto de transdutores para a avaliação dos parâmetros operacionais. Todos os transdutores foram conectados a um sistema de aquisição de dados, que por sua vez estava conectado a um computador que armazena os dados para posterior processamento.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8[®], gerenciado pelo software HBM Catman[®] 2.2 instalado em um computador portátil embarcado no trator, em uma estrutura construída especificamente para esse propósito.

2.7. Velocidade operacional do trator

A velocidade desenvolvida pelo trator durante a operação, que corresponde à velocidade translacional dos pneus, foi obtida com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, da marca Dickey John[®], modelo Radar II (Figura 3).



Figura 3. Unidade de radar para medição da velocidade instantânea.

2.8. Rotação dos eixos motrizes do trator

A velocidade rotacional das rodas motrizes do trator foi determinada com o auxílio de transdutores indutivos tubulares associados a cada uma das rodas por meio de suportes. A alteração do campo magnético (indução) dos transdutores ocorrerá pela passagem de aletas equidistantes dispostas na periferia de uma coroa circular afixada concentricamente dentro da calota do rodado. Os transdutores utilizados foram da marca Autonics, modelo PRCM 18 (Figura 4), cilíndrico, com distância de detecção de 5 mm e 18 mm de diâmetro.



Figura 4. Sensor indutivo utilizado para a determinação da velocidade angular dos rodados.

2.9. Patinagem

Foi obtida por meio da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina, de acordo com a Equação 1.

$$\delta = \frac{V_r - V_t}{V_r} 100 \quad (1)$$

em que,

δ = Patinagem (%);

V_r = Velocidade rotacional ($m.s^{-1}$); e,

V_t = Velocidade translacional ($m.s^{-1}$).

2. 10. Força de tração

Foi determinada com o auxílio de uma célula de carga instalada entre os tratores. A célula de carga utilizada foi da marca Alfa Instrumentos, com capacidade para 50 kN. O acoplamento foi realizado conforme a Figura 5.



Figura 5. Célula de carga e estrutura suporte para a instalação no trator.

2.11. Consumo de combustível

O volume de combustível consumido durante o experimento foi determinado com o uso do medidor de fluxo volumétrico, onde o volume é expresso em unidade de tempo, com a visualização do consumo instantâneo por meio de uma interface gráfica e armazenamento do volume total gasto por parcela. O medidor de fluxo de combustível utilizado foi da marca FLOWMATE M-III[®], modelo LSN40 (Figura 6), com sinal de saída do tipo impulso e precisão de 1 mL impulso⁻¹.

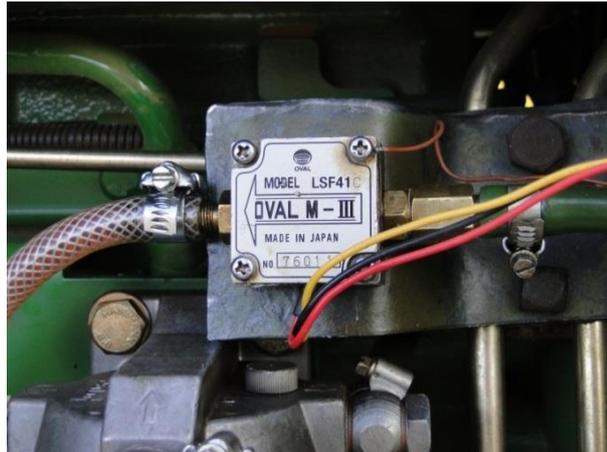


Figura 6. Fluxômetro para determinação do consumo de combustível.

2.12. Protótipo para a realização de ensaios com implementos montados

O protótipo utilizado para ensaios de implementos montados foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa por Furtado Júnior, o qual permite que o modo de acoplamento para implementos montados seja convertido para arrasto. O protótipo é composto de um chassi com dois pneus laterais de sustentação e cabeçalho para acoplamento à barra de tração do trator (Figura 7). O chassi fornece sustentação aos componentes responsáveis por acoplar e controlar a movimentação vertical e tracionar o implemento ensaiado (FURTADO JÚNIOR, 2016). A força necessária para tracionar o protótipo foi quantificada e descontada para os ensaios de todos os implementos.

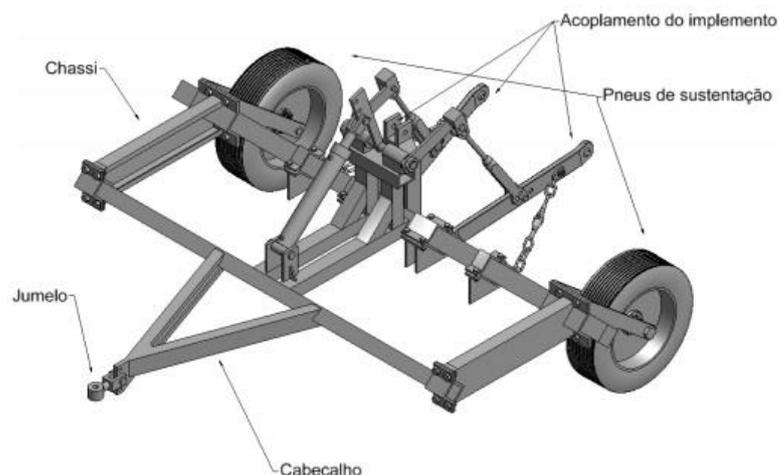


Figura 7. Vista isométrica superior/esquerda do protótipo, indicando parte de seus componentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da área experimental

A textura do solo foi classificada como argilosa e os valores médios de densidade e teor de água nas duas camadas amostradas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de densidade e de teor de água em função da camada de solo avaliada.

Profundidade	Teor de água (%)	Densidade (g.cm^{-3})
0 – 15 cm	22,19	1,55
15 – 30 cm	22,11	1,53

Na Figura 8 é apresentado o comportamento da resistência do solo à penetração em função da profundidade.

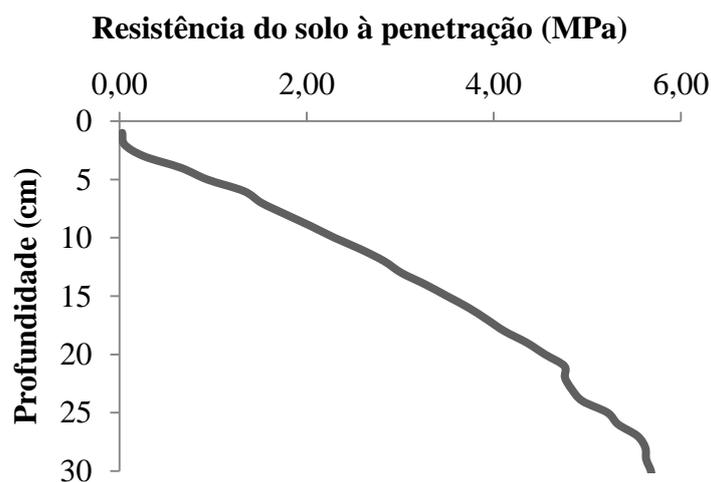


Figura 8. Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades.

A resistência à penetração aumentou de acordo com o aprofundamento no solo, o que é comum ocorrer em solos agrícolas, independentemente do sistema de cultivo adotado (PEREIRA *et al.*, 2002). Os valores de resistência à penetração encontrados assemelham-se aos expostos por Gozubuyuket *et al.*, (2014), onde foram realizadas análises de solos argilosos no sistema de plantio direto.

3.2. ESCARIFICADOR

Na Figura 9 está apresentado o esscarificador utilizado nos ensaios.



Figura 9. Operação com esscarificador.

Força de tração e consumo de combustível - esscarificador

A velocidade operacional apresentou efeito linear e positivo na força de tração (Figura 10). Na velocidade de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$, a força de tração média encontrada foi de $815,3 \text{ kgf}$, enquanto que, ao aumentar para a velocidade de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$, a força de tração média foi de $932,1 \text{ kgf}$. Os resultados obtidos se assemelham aos de Furtado Júnior (2016), onde ensaios de força de tração com um esscarificador mostraram que o aumento da velocidade operacional eleva a força exigida para tracionar o implemento.

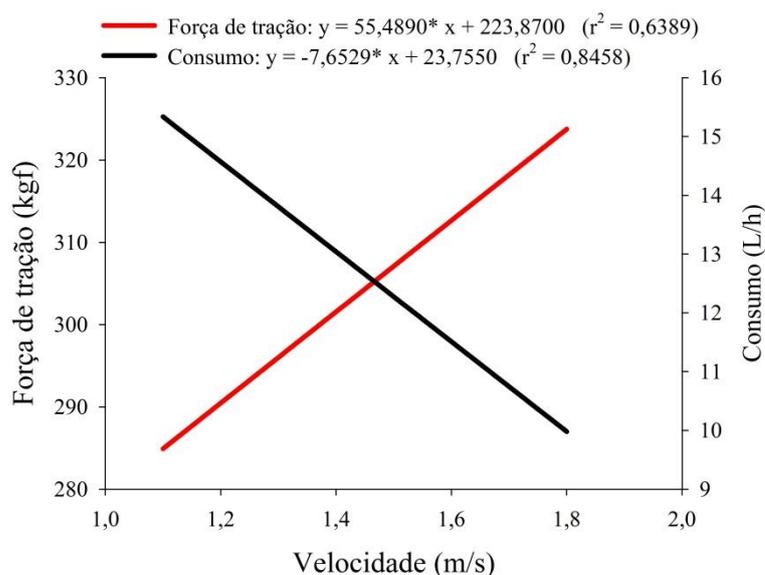


Figura 10. Equação ajustada para descrever a força necessária para tracionar o esscarificador e o consumo de combustível, em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Em relação ao consumo horário de combustível, a velocidade de trabalho apresentou efeito linear e negativo. Operando na velocidade de deslocamento do trator/implemento de $1,2 \text{ m s}^{-1}$, o consumo horário de combustível foi de $16,3 \text{ L h}^{-1}$, entretanto, na maior velocidade de $2,5 \text{ m s}^{-1}$, o consumo de combustível foi de $11,2 \text{ L h}^{-1}$. Os resultados encontrados corroboram com os estudos de Lopes *et al.* (2003), onde observou-se um decréscimo do tempo necessário para a realização da operação com o aumento da velocidade, levando à redução do consumo de combustível, conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 10. Isto se deve ao fato de que a troca de marcha altera a relação de transmissão entre o motor e os rodados do trator, aumentando a velocidade operacional e reduzindo o tempo de realização da operação.

Patinagem dos rodados do trator - escarificador

A velocidade de deslocamento do conjunto trator/implemento apresentou efeito linear e positivo no percentual de patinagem dos rodados (Figura 11). Os maiores valores percentuais de patinagem encontrados foram de 14,3%, obtidos na velocidade de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$. Os resultados são análogos aos obtidos por Furtado Júnior (2016), mostrando que os maiores valores percentuais de patinagem encontrados ocorrem nas velocidades mais elevadas, devido à elevação da força de tração exigida pelo implemento, conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 11.

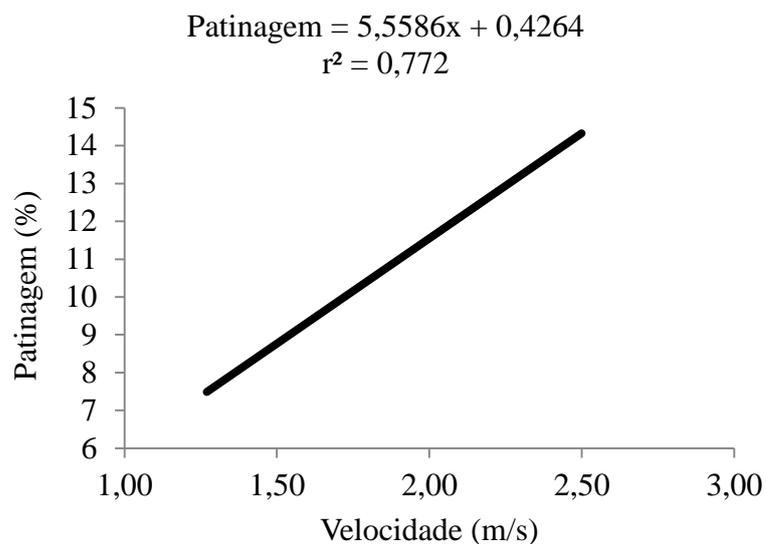


Figura 11. Equação ajustada da patinagem dos rodados do trator em função da velocidade. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

3.3. SEMEADORA-ADUBADORA

A Figura 12 está apresentada a semeadora-adubadora utilizada nos ensaios.



Figura 12. Operação com semeadora-adubadora.

Força de tração e consumo de combustível - semeadora

Através da Figura 13, é possível verificar que a velocidade de deslocamento apresentou efeito linear e positivo na força de tração, entretanto o consumo horário de combustível apresentou efeito linear e negativo em função da mesma. Na velocidade de $1,1 \text{ m s}^{-1}$, a força de tração média foi de $284,9 \text{ kgf}$; aumentando essa velocidade para $1,8 \text{ m s}^{-1}$, a força de tração média aumentou para $323,75 \text{ kgf}$.

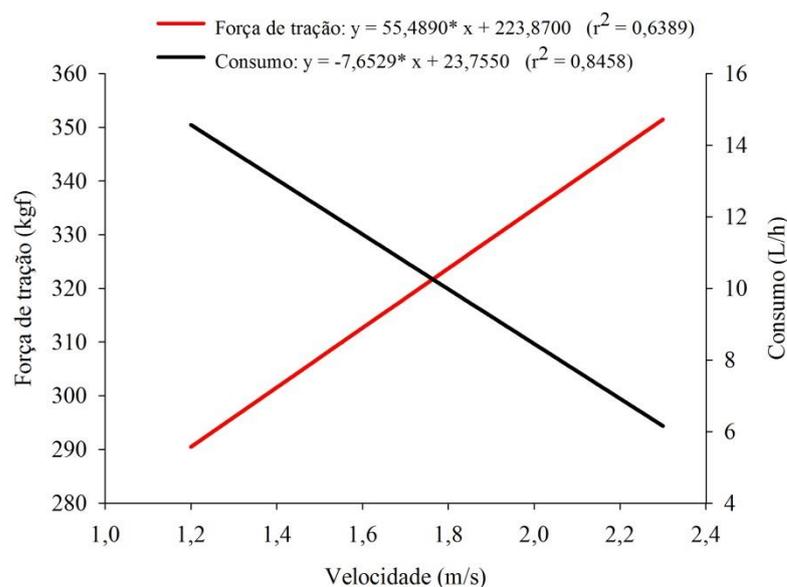


Figura 13. Equação ajustada para descrever o consumo de combustível e a força necessária para tracionar a semeadora em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O acréscimo na velocidade implica em uma maior demanda energética para romper a superfície do solo na abertura do sulco, elevando a força para tracionar a semeadora. Estudos realizados por Bortolotto (2006), com semeadora-adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento no sistema de plantio direto, mostram que os maiores valores de força de tração foram encontrados nas maiores velocidades estudadas (6,5 e 7,2 km h⁻¹), resultados estes que se assemelham com os apresentados neste trabalho.

Similarmente ao escarificador, o consumo de combustível na operação da semeadora-adubadora reduziu com o aumento da velocidade operacional. Na velocidade de 1,1 m s⁻¹, o consumo horário de combustível foi de 15,3 L h⁻¹ e o mesmo reduziu para 9,9 L h⁻¹ com o aumento da velocidade para 1,8 m s⁻¹. O aumento da velocidade resulta em um decréscimo do tempo necessário para a realização da operação na parcela, levando à redução do consumo de combustível, conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 13.

Patinagem dos rodados do trator - semeadora

Na operação da semeadora-adubadora, a velocidade de deslocamento do conjunto apresentou efeito linear e positivo na patinagem dos pneus. Na maior velocidade, a patinagem média encontrada foi de 6,4%. O aumento da velocidade e da força de tração exigida pela semeadora eleva os esforços transmitidos ao solo, diminuindo, assim, a coesão/adesão entre as partículas do solo e a aderência dos rodados com a superfície, contribuindo para um aumento percentual da patinagem dos rodados do trator (FURTADO JÚNIOR, 2016), conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 14.

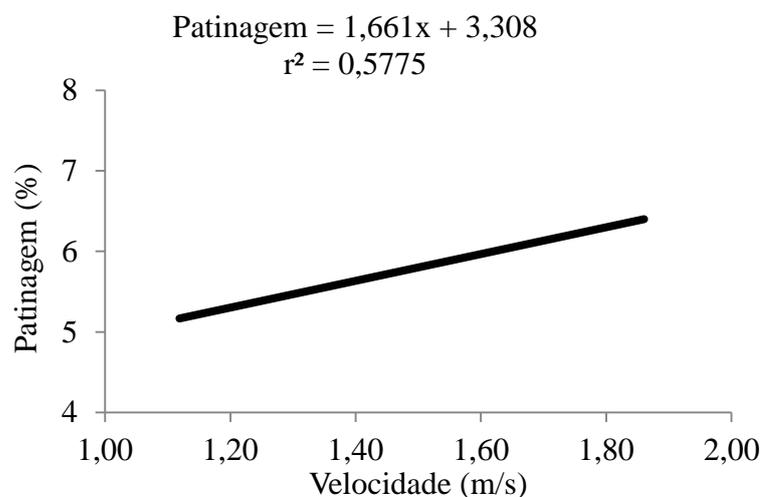


Figura 14. Patinagem dos rodados em função do acréscimo da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

3. 4. GRADE DESTORROADORA-NIVELADORA

Na Figura 15 está apresentada a grade destorroadora-niveladora utilizada nos ensaios.



Figura 15. Grade destorroadora-niveladora.

Força de tração e consumo de combustível - grade

Semelhante ao escarificador e à semeadora-adubadora, a velocidade de operação apresentou efeito linear e positivo na força de tração, ao contrário do consumo de combustível que apresentou efeito linear e negativo (Figura 16). O maior valor obtido na força de tração foi de 430,57 kgf na velocidade de $2,3 \text{ m s}^{-1}$ e o menor de 291,17 kgf para a velocidade de $1,2 \text{ m s}^{-1}$. A tendência é que o aumento da velocidade proporcione um incremento da área de solo mobilizada, o que culmina em maior demanda energética para suplantarmos as forças de coesão e adesão do solo, elevando a força de tração (MANUWA, 2009).

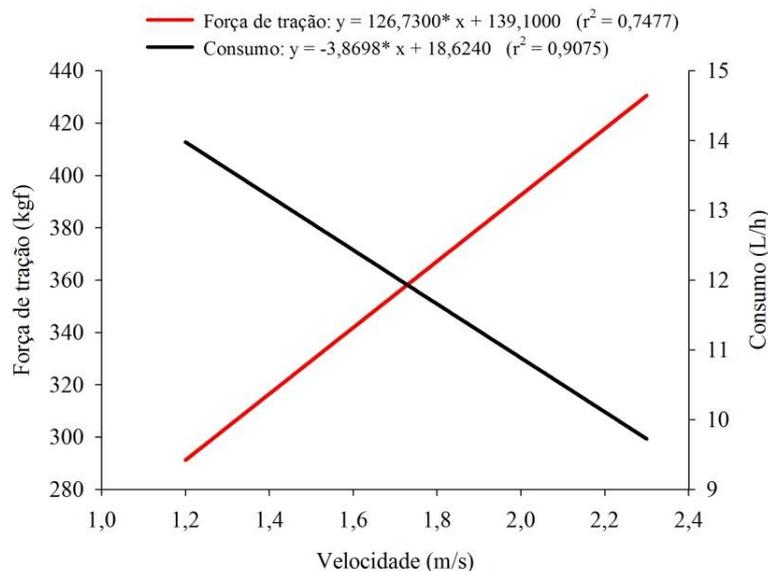


Figura 16. Equação ajustada para descrever o consumo de combustível e a força necessária para tracionar a semeadora em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O consumo de combustível reduziu em $4,2 \text{ L h}^{-1}$ com o aumento da velocidade operacional de $1,2 \text{ m s}^{-1}$ para $2,3 \text{ m s}^{-1}$. Como citado anteriormente, o decréscimo do tempo necessário para a realização da operação com aumento da velocidade proporciona a redução do consumo de combustível, conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 16.

Patinagem dos rodados do trator - grade

A velocidade de deslocamento apresentou efeito linear e positivo na patinagem dos rodados motrizes do trator. Com o aumento da velocidade de $1,2 \text{ m s}^{-1}$ para $2,3 \text{ m s}^{-1}$ houve um acréscimo de 4,45% na patinagem dos rodados do trator. A patinagem é dependente da força desenvolvida pelo trator (FURTADO JÚNIOR, 2016). Dessa forma, o aumento da força de tração em função da velocidade explica a elevação percentual da patinagem, conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 17.

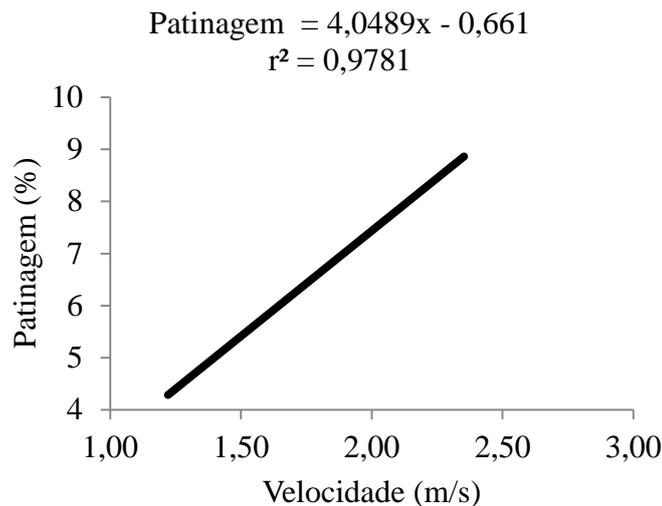


Figura 17. Patinagem dos rodados em função do acréscimo da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

3.5. ARADO DE DISCOS

Na Figura 18 está apresentado o arado de discos utilizado nos ensaios.



Figura 18. Operação com arado de discos.

Força de tração e consumo de combustível - arado

A velocidade operacional apresentou efeito linear e negativo na força de tração e no consumo de combustível (Figura 19). Na velocidade de $0,7 \text{ m s}^{-1}$, a força de tração média encontrada foi de 1144 kgf; com o aumento da velocidade para $1,7 \text{ m s}^{-1}$, a força de tração média foi de 928 kgf. Diferentemente dos outros implementos estudados, o aumento da velocidade operacional reduziu a força média de tração exigida pelo arado. Este comportamento pode ser explicado pelo baixo peso do protótipo e pela ausência de controle de ondulação, que podem ter propiciado a elevação do implemento no solo, à medida que a

velocidade foi aumentada. Isto fez com que o arado atuasse nas camadas mais superficiais, condicionando um decréscimo da seção de solo mobilizado e diminuindo a demanda energética e a força de tração. Segundo Levien (1999), os valores máximos de força de tração podem ocorrer, também, devido a irregularidades e desuniformidades do terreno, diferenças de profundidade ou embuchamentos momentâneos.

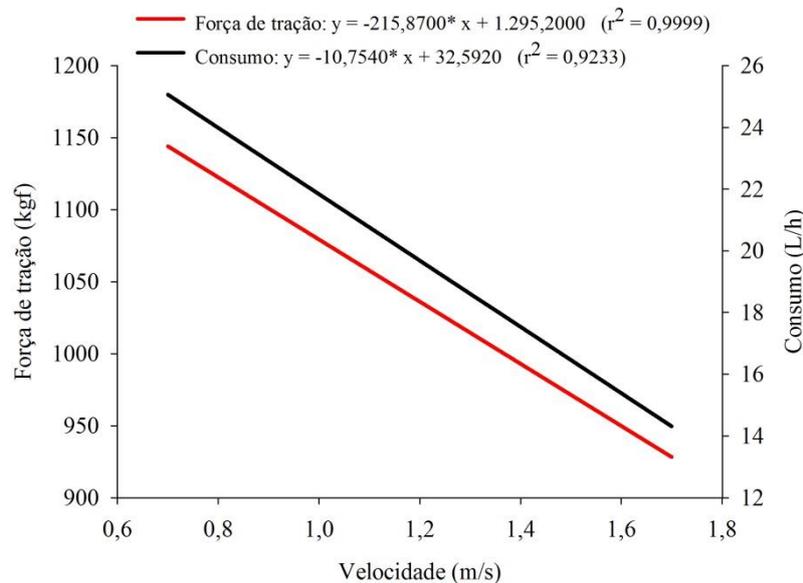


Figura 19. Equação ajustada para descrever o consumo de combustível e a força necessária para tracionar a semeadora em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Por outro lado, o consumo de combustível reduziu com o aumento da velocidade operacional, de modo semelhante ao ocorrido com os outros implementos. Comparando as velocidades de $0,7 \text{ m s}^{-1}$ e $1,7 \text{ m s}^{-1}$, a redução no consumo médio horário de combustível foi de $10,7 \text{ L h}^{-1}$. O decréscimo do tempo necessário para a realização da operação com aumento da velocidade explica a redução do consumo médio de combustível, conforme a equação ajustada, apresentadas na Figura 19.

Patinagem dos rodados do trator - arado

A velocidade operacional apresentou efeito linear e negativo no percentual médio de patinagem dos rodados motrizes do trator. Operando na velocidade de $0,7 \text{ m s}^{-1}$, o percentual médio da patinagem dos rodados do trator foi de 11,2% e com o aumento da velocidade para $1,7 \text{ m s}^{-1}$, o percentual médio da patinagem dos rodados do trator diminuiu para 8,2%. A redução da força média de tração nas velocidades mais elevadas explica a redução no percentual da patinagem, pois a mesma é dependente da força de tração requerida pelo

implemento (FURTADO JÚNIOR, 2016), conforme a equação ajustada, apresentada na Figura 20.

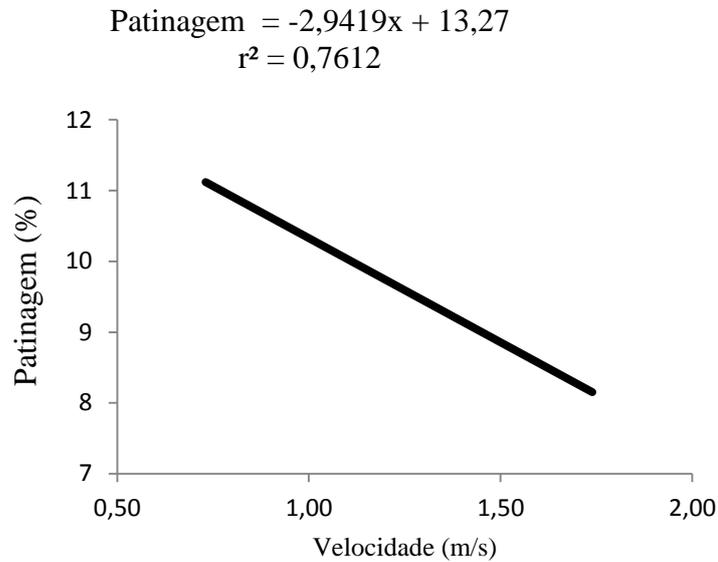


Figura 20. Patinagem dos rodados em função do aumento da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

3.6. DEMANDA ENERGÉTICA

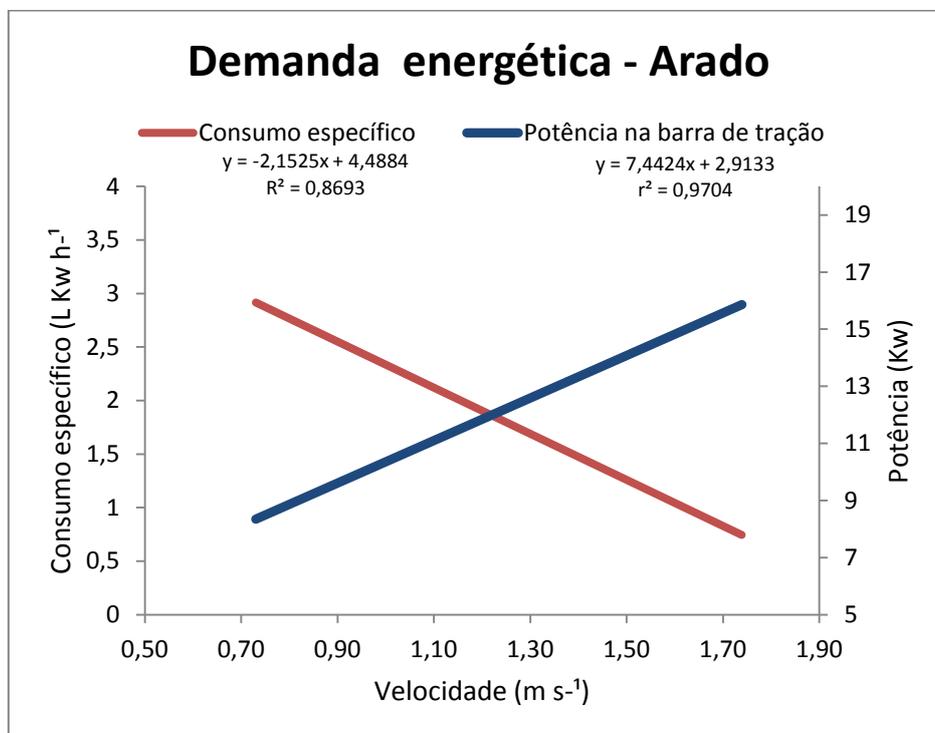


Figura 21. Equação ajustada para descrever a demanda energética em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

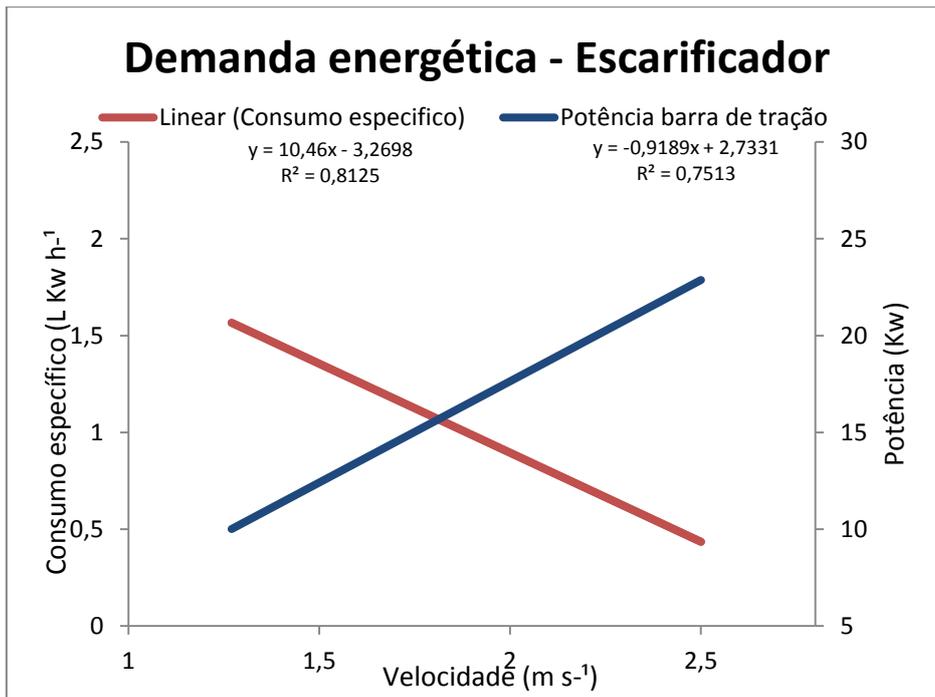


Figura 22. Equação ajustada para descrever a demanda energética em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

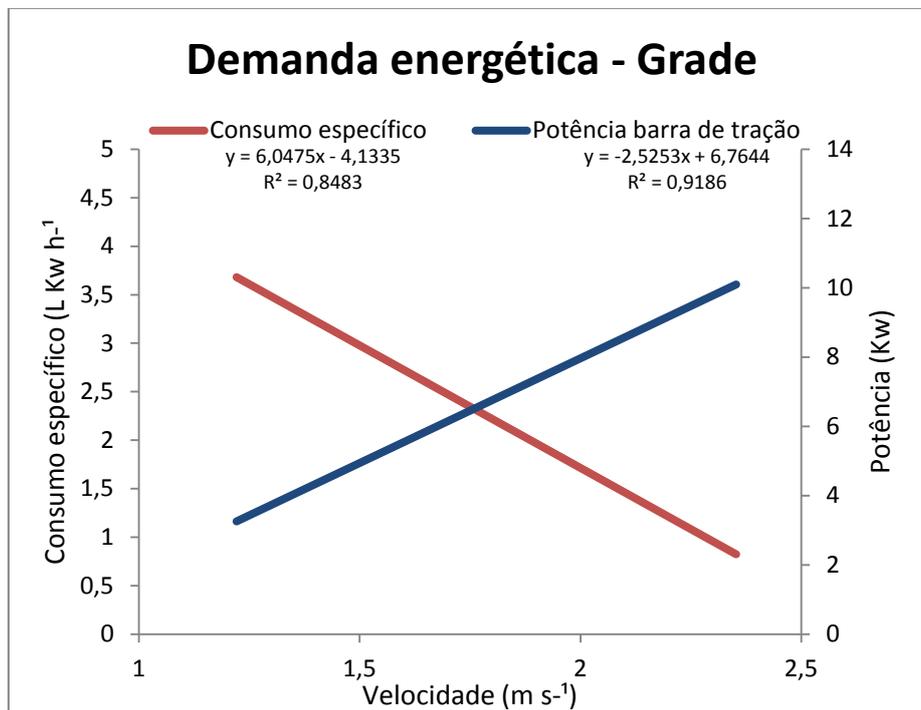


Figura 23. Equação ajustada para descrever a demanda energética em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

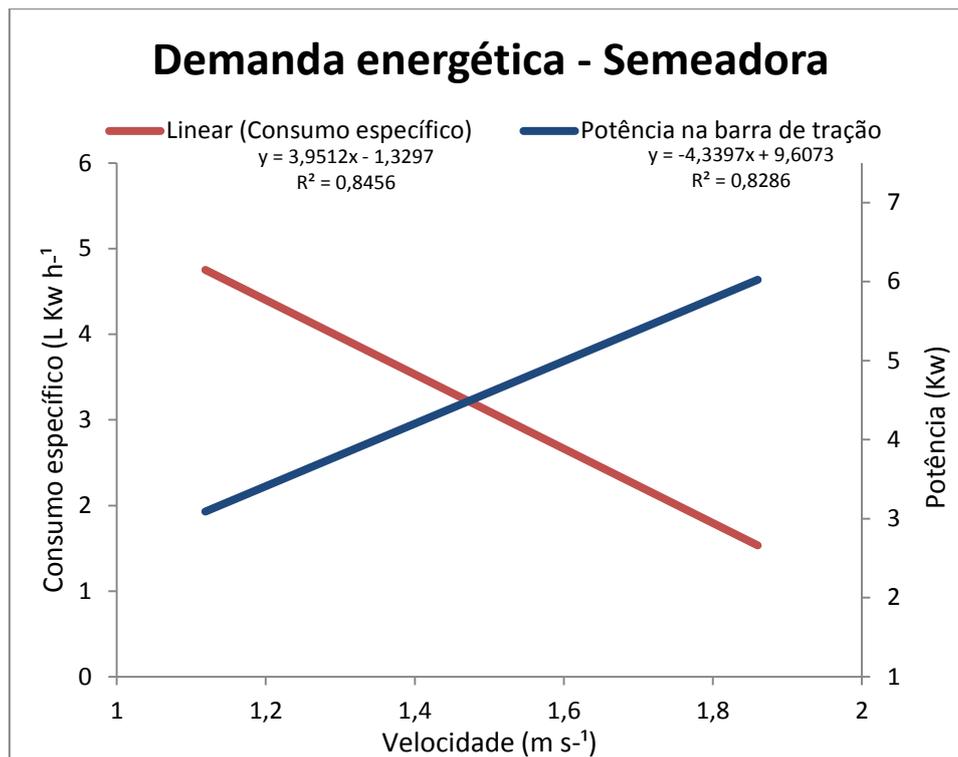


Figura 23. Equação ajustada para descrever a demanda energética em função da velocidade operacional. * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O consumo específico de combustível reduziu com o aumento da velocidade operacional em decorrência do aumento da potência exigida na barra de tração, para todos os implementos estudados. Segundo Furtado Júnior (2016), o consumo específico apresenta tendência inversa à potência na barra de tração e é uma medida de desempenho de conversão de energia do motor, assim, a redução nesse parâmetro indica maior eficiência na utilização do combustível, pois é necessário menos combustível para produzir uma unidade de potência na barra de tração.

A velocidade operacional apresentou efeito linear na potência da barra de tração, isto ocorre porque potência é o produto entre a força na barra de tração e a velocidade operacional.

4. CONCLUSÃO

O aumento da velocidade de operação proporciona elevação da força de tração e patinagem dos rodados para operação com escarificador, semeadora-adubadora e grade. Por outro lado, ocorre redução da força de tração e patinagem dos rodados na operação com arado de discos, com a utilização do protótipo para ensaios de tração de implementos montados.

A potência na barra de tração é elevada com acréscimo da velocidade operacional e ocorre redução do consumo horário específico de combustível para todos os implementos.

O aumento da velocidade de operação reduz o consumo de combustível na operação com todos os implementos.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE Standards D497.7**: Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, Michigan, 2011.

BORTOLOTTO, V. C., RAIMUNDO P. N., AND MARCIANO C. B. "Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo." **Engenharia Agrícola** (2006).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. rev. Atual. Rio de Janeiro. 2011. 230p. (Embrapa/CNPS. Documentos; 132).

FALEYE, T.; FAROUNBI, A. J.; OGUNDIPE, O. S.; ADEBIJA, J. A. Testing and evaluation of farm machines: as essential step for developing mechanization in Nigeria. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, p. 47-50 2014.

FAO (1994). SMITH, D. W.; SIMS, B. G.; O'NEILL, D. H. **Testing and Evaluation of Agricultural Machinery and Equipment: Principles and Practices**: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.

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

FURTADO-JÚNIOR, M. R. **Desempenho de uma plataforma dinamométrica para ensaios de tração de implementos montados**. (Tese). Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2016. 80 p.

GOZUBUYUK, Z.; SAHIN, U.; OZTURK, I.; CELIK, A.; ADIGUZEL, M. C. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. **Catena**, v. 118, p. 195-205, 2014.

GREČENKO, A. Predicting the performance of wheel tractors in combination with implements. **Journal of Terramechanics**, 49–63 (1968), v. 5, n. 3, p. 88, 1968.

GRISSE, R.D., PERUMPRAL, J.V., VAUGHAN, D.G., ROBERSON, T., PITMAN, R. **Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption**. Virginia Cooperative Extension (VCE): 442-073, 2010.

KATHIRVEL, K.; MANIAN, R.; BALASUBRAMANIAN, M. Tractive Performance of Power Tiller Tyres. **AgricMech Asia AfrLat Am**, v. 32, n. 2, p. 32-36, 2001.

KHEIRALLA, A. F.; YAHYA, A.; ZOHADIE, M.; ISHAK, W. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. **SoilandTillageResearch**, v. 78, n. 1, p. 21-34, 2004.

LEVIEN, R. *Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho* (Zeamays L.) 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-**Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LOPES, Afonso 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**, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

MANUWA, S. I. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 399-405, 2009.

MEHTA, C. R.; SINGH, K.; SELVAN, M. M.A decision support system for selection of tractor–implement system used on Indian farms. **Journal of Terramechanics**, v. 48, n. 1, p. 65-73, 2011.

PEREIRA, J. O.; SIQUEIRA, J. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, S. D. L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 171-174, 2002.

PORTEŠ, P.; BAUER, F.; ČUPERA, J. Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. **Soil and Tillage Research**, v. 128, n. 0, p. 81-90, 2013.

SAHU, R. K.; RAHEMAN, H.A decision support system on matching and field performance prediction of tractor-implement system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, n. 1, p. 76-86, 2008.

SIMIKIĆ, M.; DEDOVIĆ, N.; SAVIN, L.; TOMIĆ, M.; PONJIČAN, O. Power delivery efficiency of a wheeled tractor at oblique drawbar force. **Soil and Tillage Research**, v. 141, n. 0, p. 32-43, 2014.

ZOZ, F. M., R. J. Turner, and L. R. Shell. "Power Delivery Efficiency: A Valid Measure of Belt and Tire Tractor Performance." *Transactionsofthe ASABE* **45**, no. 3 (2002): 509-18.