

DESEMPENHO OPERACIONAL E CUSTO DA SUBSOLAGEM COM E SEM RODADO DUPLO NO TRATOR AGRÍCOLA

ARTHUR GABRIEL CALDAS LOPES¹, TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA¹,
GUILHERME RODRIGUES DE BRITO¹, ALEXANDRE PINTO FERREIRA DE ALMEIDA
FARIA¹, PAULO ROBERTO ARBEX SILVA²

¹Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC – Asa Norte, Cep: 70910-900, Brasília/DF, Brasil. E-mail: arthur.grb10@gmail.com, tiagocorreia@unb.br, guilhermexiiv@gmail.com, alexandreagro20@gmail.com

²Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista, Av. Universitária, nº 3780, Altos do Paraíso, Cep: 18610-034, Botucatu/SP, Brasil. E-mail: paulo.arbex@unesp.br

RESUMO: A descompactação dos solos agrícolas pode ser realizada com diferentes números de rodados do trator agrícola. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho operacional e econômico da operação de subsolagem utilizando trator agrícola equipado com e sem rodado duplo traseiro. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Água Limpa, pertencente a Universidade de Brasília. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 3 (Duas configurações de rodado, simples e duplos; e três velocidades operacionais, 3,2; 4,2 e 4,9 km h⁻¹), com quatro repetições. O subsolador utilizado foi o modelo SPCR com cinco hastes e ponteiros sem asa, tracionado por um trator modelo TM7020 (4 x 2 TDA) com 109,58 kW de potência. Foram avaliadas a resistência mecânica do solo a penetração (RMP), consumo horário de combustível (Chc) e patinação dos rodados, capacidade de campo efetiva (Cce) e custo horário (CH). Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P ≥ 0,05). Concluiu-se que a subsolagem com rodado duplo e menor velocidade possibilita menor patinação, Chc e CH. A Cce foi maior com rodado duplo e maior velocidade.

Palavras-chaves: consumo de combustível, patinação, subsolador.

PERFORMANCE OPERATIONAL AND SUBSOILING COST WITH AND WITHOUT DOUBLE WHEELS IN THE AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT: Agricultural soils decompaction can be carried out with different numbers of wheels on the agricultural tractor. The aim of the work was to evaluate the operational and economic performance of subsoiling operation using an agricultural tractor equipped with and without rear double wheels. The experiment was carried out at Fazenda Experimental Água Limpa, belonging to the University of Brasília. The experimental design used was completely randomized in a 2 x 3 factorial arrangement (two wheel configurations: single and double; and three operational speeds, 3.2; 4.2 and 4.9 km h⁻¹), with four repetitions. The subsoiler used was the SPCR model with five rods and tips without wing, pulled by a tractor model TM7020 (4 x 2 TDA) with 109.58 kW of power. Soil mechanical resistance to penetration (RMP), hourly fuel consumption (Chc) and slip, effective field capacity (Cce) and hourly cost (CH) were evaluated. The data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test (P ≥ 0.05). It was concluded that subsoiling with double wheels and lower speed allows less slip, Chc and CH. The Cce was bigger with double wheels and higher speed.

Keywords: fuel consumption, slip, subsoiler.

1 INTRODUÇÃO

Em circunstâncias do crescente aumento da população mundial e da necessidade de se produzir mais alimentos, a mecanização agrícola se torna indispensável e fundamental. De acordo com Coelho et al. (2012), a maior incidência de mecanização agrícola ocorre no preparo do solo, sendo o trator a máquina mais utilizada como meio de tração para implementos de preparo.

Em termo econômico a mecanização representa de 20 a 40% do custo total de produção na propriedade agrícola, devendo ser adequadamente utilizados e dimensionados ao trabalho (BUAINAIN et al., 2014). Simões, Silva e Fenner (2011) em estudo realizado sobre a operação de subsolagem para cultivo de eucalipto obtiveram custo operacional entre US\$17,17 e US\$22,37 h⁻¹. Kaneko et al. (2010) em área de cultivo de milho sob diferentes sistemas de manejo do solo, encontraram custo de US\$24,49 h⁻¹ para operação de escarificação.

Segundo Schlosser (1996) a tração dos implementos por tratores é possível devido a aderência dos rodados ao solo, a qual pode ser reduzida resultando o deslizamento e/ou patinamento dos rodados, influenciados por fatores como teor de água, condição da superfície e resistência a penetração do solo, tipo e número de pneus do trator, pressão de inflação dos pneus, lastragem dos eixos e potência do trator. Além desses, Palma et al. (2010) descrevem que a força de tração exigida pelo implemento ao deslocamento é fator atenuador para o desempenho do trator. Ao pesquisarem a semeadura direta com haste sulcadora em diferentes profundidades, os autores obtiveram aumento da força de tração, patinagem e consumo de combustível ao aumentarem a profundidade das hastes. Monteiro et al. (2013) avaliando o desempenho de um trator agrícola com pneus radiais e diagonais e diferentes lastragem, concluíram que menores valores de patinagem e consumo específico de combustível e maiores valores de potência na barra de tração foram obtidos para lastragem com 40% de água em pneu radial e 75% em pneu diagonal.

Originalmente é comum que os tratores sejam equipados com apenas dois rodados por

eixo de tração, um em cada extremidade. A inclusão de mais dois pneus em cada extremidade do eixo irá configurar o trator com rodado duplo, cujo objetivo é a possível melhora da performance. Clark e Liljedahl (1969) comparando essas duas configurações de rodado em laboratório e solo artificial, concluíram que a tração do rodado duplo foi maior em solo macio e menor em solo firme. Resultado semelhante foi verificado por Kucera, Larson e Hofman (1985), que concluíram maior eficiência do trator com rodado simples em condição de solo firme e com restos culturais de trigo. Entretanto, Frantz (2011) comparou o número de rodados em plantio direto e obtiveram que o melhor desempenho de tração do trator, potência na barra e consumo específico de combustível com rodado duplo em pressão de 138 Kpa.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho operacional e econômico da operação de subsolagem utilizando trator agrícola equipado com e sem rodado duplo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado a campo na Fazenda Experimental Água Limpa – FAL, situada em Brasília-DF e pertencente Universidade de Brasília - UnB.

A área experimental possui coordenadas geográficas 15°56'51.8"S 47°55'36.9"W, altitude média de 1100 m, segundo classificação Köpen o clima da região é do tipo Aw, precipitação média anual de 1600 mm e caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa que ocorre de outubro a abril, e outra fria e seca de maio a setembro. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo com relação silte/argila de 0,45 no horizonte A (PAPA et al., 2011).

A área experimental havia permanecido em sistema plantio direto de milho para silagem por oito safras consecutivas, sendo as semeaduras realizadas sem uso de haste sulcadora na semeadora-adubadora. A palhada presente na superfície do solo foi dessecada com herbicida Glifosato, na dosagem de 2,5 L ha⁻¹, 30 dias antes da realização do experimento, sendo predominantemente

composta por colmos de milho, capim colchão (*Digitaria sanguinalis* L. Scop) e Braquiárias. Para caracterização da área experimental foi determinada a massa de matéria seca da palhada sobre o solo e limite de liquidez e plasticidade do solo, de acordo com as metodologias

descrita por Chaila (1986) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) respectivamente. Além desses foi caracterizado por análise física do solo o teor de água e composição física do solo. A caracterização do solo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do solo da área experimental.

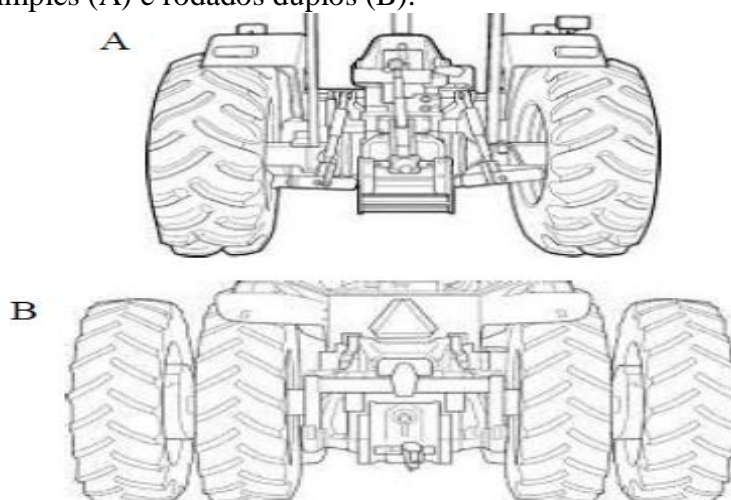
Característica	Camada do solo (cm)	
	0 - 20	20- 40
Argila (%)	63,4	72
Silte (%)	15,5	14,2
Areia (%)	21,2	15,2
Limite de liquidez (%)	59,6	53,7
Plasticidade (%)	37,6	36,1
Teor de água (%)	16,3	24,5
Massa de matéria seca (kg ha ⁻¹)*	3546,7	

*massa de matéria seca na superfície do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado sendo os tratamentos constituídos por um esquema fatorial 2 x 3, sendo duas configurações de rodados no eixo traseiro de tração do trator (rodado simples e rodado duplo) e três velocidades operacionais (3,2; 4,2 e 4,9 km h⁻¹), perfazendo seis tratamentos com quatro repetições cada. As parcelas experimentais foram dimensionadas com 30 m de

comprimento útil, antecedidas de oito metros de comprimento cada para estabilização do conjunto trator-subsolador antes da aquisição dos dados. As velocidades foram obtidas conforme escalonamento de marchas indicado pelo fabricante do trator e rotação de 1900 rpm no motor, com pequenas oscilações durante o percurso da parcela. As configurações consideradas rodado simples e rodado duplo são ilustradas na Figura 1.

Figura 1. Rodados simples (A) e rodados duplos (B).



O trator agrícola utilizado foi da marca New Holland, modelo TM7020 4 x 2 TDA, com 109,58 kW (149cv) de potência bruta no motor

e massa total de 7125 kg, sendo 24940 kg no eixo dianteiro e 4631 kg no eixo traseiro.

Os pneus utilizados no trator foram do tipo diagonal, modelo Pirelli TM95 (medida 18.4-26 e 12 lonas) com garras medindo 43 mm de altura no eixo dianteiro, e modelo Goodyear Dyna Torque II (medida 20.8-38 e 14 lonas) com garras medindo 52 mm de altura no eixo traseiro. Adicionou-se 75% de água aos pneus, sendo inflados com 206,84 kPa (30 psi) e 220,63 kPa (32 psi) de pressão de ar os dianteiros e traseiros respectivamente, conforme indicação dos fabricantes.

O subsolador utilizado foi o da marca Piccin, modelo SPCR de arrasto com cinco hastes espaçadas em 0,4 m, ponteiros sem asa com 80 mm de largura, discos de corte de palha de 18", rolo destorroador, massa de 1550 kg e 2 m de largura de trabalho. As hastes do implemento operaram a uma profundidade de 0,35 m.

Foram realizadas avaliações de resistência mecânica do solo a penetração (RMP), consumo horário de combustível (Chc), capacidade de campo efetiva (Cce), patinagem e custo horário (CH).

A RMP foi avaliada antes da subsolagem das parcelas em seis pontos aleatórios da área experimental, utilizando a metodologia de penetrometria proposta por STOLF et al. (1991). Os dados foram coletados nas camadas de 0 a 10; 10 a 20; 20 a 30 e 30 a 40 cm do perfil dos solo, utilizando um penetrômetro de impacto com haste de 0,6 m, contrapeso metálico de 4 kg para impacto e área de projeção da ponteira de 1,22 cm². O teor médio de água no solo durante a penetrometria foi de 25%, determinada por seis amostras mistas de solo coletadas até 40 cm no perfil do solo, submetidas ao método padrão da estufa a ±105 °C durante 24 horas. De acordo com Molin, Magalhães e Faulin (2006) o teor de água foi ideal para o procedimento de RMP. A RMP foi determinada pela submissão dos dados da penetrometria na Equação 1.

$$RMP = [N \times (5,581 + 6,981)] \times 0,0980665 \quad (1)$$

Em que: RMP é a resistência à penetração em Mpa e N é o número de impactos do peso metálico.

O Chc foi obtido a partir da instalação de dois fluxômetros volumétricos da marca Flowmate, modelo Oval M-III LSN41L8-M2, vazão de um mL por pulso, um instalado entre os filtros e a bomba injetora do motor do trator e o outro no retorno do combustível ao tanque. Os pulsos elétricos emitidos pelo fluxômetro foram recepcionados e armazenados por um datalogger marca Campbell Scientific, modelo CR1000, instalado no interior da cabine do trator. Os tempos de operação por parcela experimental também foram coletados pelo datalogger e a partir dos dados obtidos o consumo horário de combustível foi calculado através da Equação 2.

$$Chc = (Tp / \Delta t) \times 3,6 \quad (2)$$

Em que: Chc é o consumo horário de combustível em L h⁻¹, Tp é a diferença de pulsos registrados equivalentes a mL para percorrer a parcela experimental, Δt é o tempo gasto para percorrer a parcela experimental em segundos e 3,6 é o fator de conversão de mL s⁻¹ para L h⁻¹.

A capacidade de campo efetiva foi calculada em função da área útil e tempo gasto para subsolagem por parcela, conforme a Equação 3.

$$Cce = (Aup / \Delta t) \times 0,36 \quad (3)$$

Em que: Cce é a capacidade de campo efetiva em ha h⁻¹, Aup é a área útil de parcela trabalhada em m², Δt é o tempo gasto para percorrer a parcela em segundos e 0,36 é o fator de conversão de m² s⁻¹ para ha h⁻¹.

A patinagem dos rodados do trator foi obtida através de dois sensores ópticos de rotação, precisão 0,05%, instalados no rodado dianteiro direito e no traseiro direito do trator, os quais registraram no datalogger o número de revoluções dos rodados dentro das parcelas experimentais, subsolando (com carga) e não subsolando (sem carga). Para determinação da patinagem os dados foram submetidos às Equações 4.

$$P = [(N1 - N2) / N2] \times 100 \quad (4)$$

Em que: P é a patinação dos rodados traseiros em %, N1 é o número de revoluções do rodado traseiro sem carga e N2 é o número de revoluções do rodado traseiro com carga.

O custo horário (CH) da operação de subsolagem foi calculado utilizando a metodologia proposta pela American Society of

Agricultural and Biological Engineers (2011). Para os cálculos levou-se em consideração custos fixos anuais (Cfa) com depreciação, juros, alojamento seguro e taxas; custos variáveis (Cv) com combustível, lubrificantes e graxas, reparos e manutenções e mão-de-obra. As equações utilizadas para cálculos dos custos são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações para cálculos de custo horário.

Custo fixo anual - Cfa (R\$ h⁻¹)
$Vi \times \{ [(1-Vf) / Vua] + [(1+Vf / 2) \times j] + AST \} / Vuh$
Custo variável - Cv (R\$ h⁻¹)
$(Chc \times Pc) + [0,15 \times (Chc \times Pl)] + [Rf1 \times (Hau / 1000)^{Rf2}]$
$[(S + Et) \times 13] / Hta$
Custo horário - CH (R\$ h⁻¹)
$CH = Cfa + Cv + Cmo$

Fonte: ASABE (2011)

O valor inicial (Vi) do trator foi considerado R\$168.000,00 e do subsolador R\$27.300,00, conforme pesquisa por máquinas similares em revendas de usados da região de realização do experimento. O valor de dois conjuntos roda/pneu traseiro para adicionar ao eixo traseiro do trator foi cotado em revendas da região por R\$8.300,00. A vida útil em anos (Vua) foi adotada de 10 anos para trator e 5 anos para subsolador, vida útil em horas (Vuh) de 10.000 horas para trator e 2.000 horas para subsolador, o fator de alojamento seguro e taxas (AST) foi de 1% ao ano (BALASTREIRE, 1990). De acordo com dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2018), a taxa de juros (j) sobre o Vi das máquinas foi considerada 7,5% ao ano.

O preço médio de aquisição do óleo diesel (Pc) foi considerado de R\$3,92 L⁻¹, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (2018). Os fatores de reparo reparos e manutenções Rf1 e Rf2 foram respectivamente 0,003 e 2 para trator e, 0,27 e 1,4 para subsolador (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL

ENGINEERS, 2011). O número de horas acumuladas de uso (Hua) do conjunto trator-subsolador foi considerado 500, conforme leitura no horímetro do trator.

O custo com mão-de-obra (Cmo) considerou jornada de trabalho de oito horas diárias, 47 semanas por ano e cinco dias por semana, totalizando 1880 horas trabalhadas por ano (Hta). O valor de remuneração mensal da mão-de-obra (S) do operador de máquinas foi considerada R\$1.900,00 e encargos trabalhista (Et) de 80%.

Os dados foram submetidos a análises descritiva e de variância usando respectivamente os procedimentos MEANS e MIXED do software Statistical Analysis System versão 9.2. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de resistência mecânica do solo à penetração (RMP) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resistência mecânica do solo a penetração (RMP).

Profundidade (cm)	RMP (MPa)
0 a 10	2,61 a
10 a 20	2,80 a
20 a 30	1,94 b
30 a 40	1,11 c
CV (%)	14,46
Teste F	25,05**
DP	0,306
EP	0,153
DMS	0,642

CV: coeficiente de variação. DP: desvio padrão. EP: erro padrão. DMS: diferença mínima significativa. **significativo ao nível de 1%.

Maior RMP, 2,8 MPa, foi obtida no intervalo de profundidade de 0 a 20 cm no perfil do solo, possivelmente devido ao intenso tráfego de máquinas agrícolas e caminhões historicamente realizado para produção de milho silagem na área (oito anos consecutivos). Silveira e Sierra (2010) explicam que maior RMP significa que as partículas do solo estão mais coesas e, portanto, maior densidade do solo, caracterizando assim uma camada compactada de difícil desagregação. Nesse sentido, Bono, Macedo e Tormena (2013), Theodoro et al. (2018), Valente et al. (2019), relatam que valores de RMP acima de aproximadamente 2,0 MPa podem ser considerados compactação impeditiva ao crescimento e desenvolvimento de raízes de culturas graníferas no solo, desta forma, o valor de RMP obtidos no presente trabalho (2,8 MPa) caracteriza uma camada compactada de solo até a profundidade de 20 cm para o cultivo de milho.

O resultado corrobora com Valente et al. (2019), cujo a RMP obtida foi de 2,2 MPa na camada de 15 a 20 cm de profundidade no perfil do solo, explicada pelo acúmulo de pressões oriundas do tráfego de máquinas ano pós ano,

estável pelo não revolvimento do solo. Assemelha-se ao resultado de Girardello et al. (2014), que na escarificação de um Latossolo Vermelho em sistema plantio direto obtiveram 2,1 MPa a 25 cm de profundidade. Entretanto, o resultado difere de 1,96 MPa verificado por Bono, Macedo e Tormena (2013) na profundidade de 20 cm do perfil de um Latossolo Vermelho distrófico no cerrado cultivado intensivamente com soja em plantio direto por seis anos.

Vogel e Fey (2016) esclarecem que a compactação do solo não significa apenas resistência física para penetração das raízes, mas também resistência à penetração e tração de implementos agrícolas para preparo do solo, sendo necessária maior potência e maior demanda de combustível pelos tratores, influenciando o seu desempenho operacional e econômico. Os resultados de desempenho operacional do conjunto trator-subsolador são apresentados na Tabela 4, e indicam interação entre os fatores velocidade operacional e configuração dos rodados para as variáveis consumo horário de combustível (Chc) e patinagem.

Tabela 4. Interação entre os fatores para as variáveis consumo horário de combustível (Chc) e patinagem.

Configuração dos rodados	Velocidade operacional (km h ⁻¹)			EP	P valor
	3,2	4,2	4,9		
Chc (L h⁻¹)					
Simple	23,5 Ab	24,1 Ab	26,4 Aa	0,20	0,0018
Duplo	22,9 Bb	24,6 Aa	25,2 Ba		
Patinagem (%)					
Simple	8,6 Ac	13,5 Ab	15,4 Aa	0,15	0,0079
Duplo	6,6 Bc	11,5 Bb	12,4 Ba		

EP: erro padrão. Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os resultados de consumo horário de combustível (Chc) não diferem entre rodado simples e duplo para a velocidade operacional de 4,2 km h⁻¹. A 3,2 e 4,9 km h⁻¹ o rodado duplo apresenta menores Chc, sendo de 22,9 e 25,2 L h⁻¹ respectivamente, consumos 2,5 e 4,5% menor que os verificados com rodado simples.

Utilizando rodado simples e comparando apenas o fator velocidade operacional, o Chc não diferiu entre 3,2 e 4,2 km h⁻¹, sendo respectivamente 11 e 8,7% menor que a média de 26,4 L h⁻¹ obtida na rotação de 1900 rpm. Comparando as velocidades utilizando apenas rodado duplo o Chc foi menor a 3,2 km h⁻¹, sendo 6,9 e 9,1% menor que o Chc obtido a 4,2 e 4,9 km h⁻¹. Entre 4,2 e 4,9 km h⁻¹ o Chc não diferiu utilizando rodado duplo, sendo em média 24,9 L h⁻¹.

A combinação entre os fatores rodado duplo e velocidade 3,2 km h⁻¹ foi a que resultou menor Chc, 22,9 L h⁻¹. Possivelmente os resultados possam ser esclarecidos conforme descreve Márquez (2012), que os motores diesel apresentam maior eficiência em baixas rotações, em função da maior capacidade em admitir oxigênio (comburente), maior tempo para completar o ciclo da combustão e em função de menor atrito entre os componentes dinâmicos e estáticos do motor. Neste sentido, ao aumentar a velocidade operacional foi observado aumento também das rotações do motor, mesmo que tenham sido alterando o escalonamento de marchas, justificando assim a tendência de maior Chc pelo aumento das velocidades obtida no trabalho.

O resultado foi menor que o obtido por Frantz (2011), que avaliando o desempenho de um trator agrícolas 4 x 2 TDA com 81,29 kW de potência, pesando 5746 kg, equipado rodados duplos no eixo traseiro, inflados com 138 Kpa de pressão de ar, velocidade de deslocamento de 4 km h⁻¹ e em condição de solo firme em sistema plantio direto, obteve maior força de tração, maior potência na barra e consumo de combustível de 33,8 L h⁻¹.

Em se tratando dos resultados da variável patinagem dos rodados do trator, os menores resultados foram obtidos pela configuração rodado duplo, independente das velocidades operacionais estudadas. Nas velocidades 3,2 e 4,2 km h⁻¹ a patinagem do rodado duplo foi 2% menor que a obtida pelo rodado simples, e a 4,9 km h⁻¹ a patinagem do rodado duplo foi 3% menor que a do rodado simples.

Comparando os resultados de patinagem em função apenas das velocidades operacionais, a menor velocidade, 3,2 km h⁻¹, proporcionou menor patinagem tanto com rodado simples como duplo, 8,6 e 6,6% respectivamente. A patinagem do rodado simples nessa velocidade foi 4,9 e 6,8% menor que as obtidas nas velocidades de 4,2 e 4,9 km h⁻¹ respectivamente. A 3,2 km h⁻¹ a patinagem do rodado duplo foi 4,9 e 5,8% menor que as obtidas a 4,2 e 4,9 km h⁻¹ respectivamente. Conforme explica Fiorese et al. (2015a), possivelmente as condições superficiais do solo, no que diz respeito a textura, adensamento, tipo de cobertura, teor de água, entre outros, refletiram na interação rodado-

solo, sendo a aderência para os rodados motrizes reduzida quando submetidos a maiores velocidades, ocasionando o efeito de patinagem dos mesmos. Segundo os autores, o índice de patinagem pode ser maior pela consequente redução da eficiência de tração em condições superficiais onde se tenha maior quantidade de matéria seca, assim como, a patinagem sofre comportamento exponencial em função da carga na barra de tração, potencializada por aumento da velocidade operacional e perda de aderência pneu-solo, reduzindo a eficiência tratória e elevando a patinagem em situação de preparo subsuperficial do solo. Machado et al. (2015) e Jadoski et al. (2016) relataram que a patinagem dos rodados pode ser afetada pelas combinações de pressão interna dos pneus e lastragem do trator, inclusive centro de gravidade, podendo terem sido razões de influência para os resultados obtidos.

Os resultados corroboram com os encontrados por Fiorese et al. (2015b), que ao avaliarem a patinagem de tratores agrícolas equipados com mesmo tipo de pneus e mesma lastragem verificaram menor índice de patinagem, 6,4%, em menor velocidade operacional. Corroboram também com Gabriel Filho et al. (2010), que realizaram trabalho avaliando a patinagem de um trator agrícola em pista de solo com textura argilosa e detectaram efeito do aumento da velocidade operacional na

patinagem, de modo que a 3,4 km h⁻¹ a patinagem foi de 4%, e a 5,2 e 6 km h⁻¹ a patinagem foi entre 10 e 11%. Os autores salientam que o aumento da velocidade tende a aumentar a patinagem quando o trator não dispõe de potência suficiente para atender ao aumento da demanda de potência em maior velocidade, todavia, as condições de uso dos pneus devem ser consideradas, a altura das garras podem interferir nesta relação mostrando que garras maiores mantem a patinagem constante, mesmo com a elevação da velocidade de deslocamento; já pneus com garras mais baixas aderem melhor ao solo o que diminuiu a patinagem na menor velocidade.

Os resultados de patinagem contrapõem os obtidos por Feitosa et al. (2015), que em condições de velocidades operacionais a 4,2; 5,4 e 7,3 km h⁻¹, não obtiveram diferenças significativas para a patinagem dos rodados de um trator agrícola sobre preparo convencional de Argissolo Vermelho-Amarelo. Possivelmente a divergência entre os trabalhos deva-se às diferenças na condição de superfície do solo ou mesmo as especificidades dos implementos utilizados.

Os resultados de capacidade de campo efetiva (Cce) são apresentados na Tabela 5, e indicam interação entre os fatores configuração dos rodados e velocidade operacional no preparo do solo com subsolador.

Tabela 5. Capacidade de campo efetiva (Cce) da subsolagem para os fatores estudados.

Configuração dos rodados	Velocidade operacional (km h ⁻¹)			EP	P valor
	3,2	4,2	4,9		
	Cce (ha h ⁻¹)				
Simplex	0,71 Bc	0,79 Bb	0,92 Ba	0,065	0,0012
Duplo	0,86 Ac	0,96 Ab	1,07 Aa		

EP: erro padrão. Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Entre configuração dos rodados a maior Cce foi obtida por rodado duplo, independente da velocidade operacional. A Cce com rodado duplo foi de 0,86; 0,96 e 1,07 ha h⁻¹ a 3,2; 4,2 e 4,9 km h⁻¹ respectivamente, sendo 17,4; 17,7 e 14% maior que as Cce obtidas com rodado simples nas mesmas velocidades. Entre velocidades operacionais, 4,9 km h⁻¹ apresentou maior Cce em ambas configurações de rodado,

sendo de 0,92 e 1,07 ha h⁻¹ para simples e duplo respectivamente. A 4,9 km h⁻¹ e utilizando rodado simples a Cce foi 22,8 e 14,1% maior que as obtidas a 3,2 e 4,2 km h⁻¹ respectivamente, e utilizando rodado duplo a Cce foi 19,6 e 10,2% maior que a 3,2 e 4,2 km h⁻¹.

Maior Cce pode ser compreendida devido principalmente a maior velocidade

operacional. Além desse fator, a maior Cce obtida por rodado duplo no eixo traseiro de tração do trator é possivelmente relacionada ao menor índice de patinagem obtido dos rodados (Tabela 4). O fato é tratado por Keller e Lamandé (2010), os quais em trabalho semelhante, concluíram que a interação do rodado com a superfície do solo influencia na aderência do pneu, a qual pode influenciar a capacidade de trabalho dos equipamentos agrícolas por patinagem indevida. Sendo assim, é compreensível que a configuração de rodado duplo tende a proporcionar maior interação rodado-solo, reduzido a possibilidade de patinagem indevida, otimizando a velocidade operacional e consequentemente a Cce.

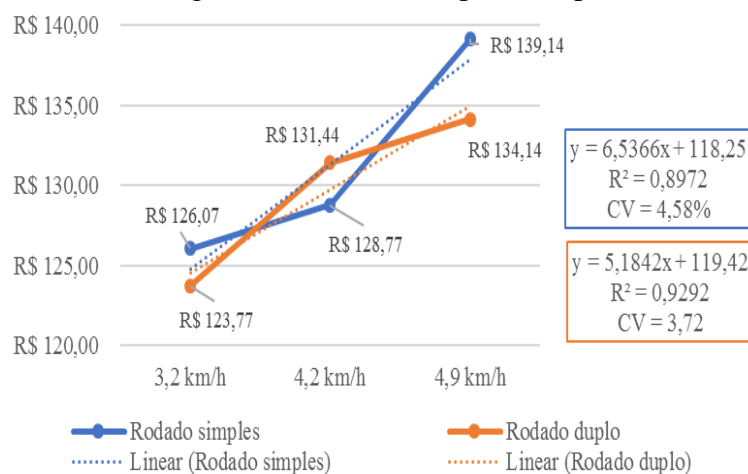
A busca incessante por maior capacidade operacional pela agricultura moderna, associada aos resultados de Cce obtidos, é possível de ser saciada na operação de subsolagem utilizando configuração de

rodado duplo e velocidade operacional de 4,9 km h⁻¹. Essa combinação possibilita maior Cce e, ainda assim, o Chc é menor que utilizando rodado simples

O resultado de Cce obtido na maior velocidade e rodado simples se assemelha ao de Machado et al. (2015), que avaliando o desempenho operacional da subsolagem a 4,5 km h⁻¹ com implemento de cinco hastes a 0,35 m de profundidade e trator com 89 kW de potência no motor, obtiveram resultado de 0,9 ha h⁻¹ em Nitossolo Vermelho.

Os resultados de custo horário (CH) são apresentados na Figura 2. A análise de regressão indica que o comportamento de CH do conjunto trator-subsolador na subsolagem com rodado simples e duplo foi linear, em que o R² das equações (Figura 2) apresentaram 89,7% dos casos de CH para rodado simples e 92,9% para rodado duplo.

Figura 2. Custo horário da subsolagem com rodado simples e duplo.



O menor CH da subsolagem, R\$123,77 h⁻¹, foi obtido com rodado duplo a 3,2 km h⁻¹. Verifica-se que para a mesma velocidade o CH com rodado simples foi 1,8% maior, sendo de R\$126,07 h⁻¹. O maior CH da subsolagem, R\$139,14 h⁻¹, foi obtido com rodado simples e velocidade de 4,9 km h⁻¹. Nessa mesma velocidade o CH do rodado duplo foi 3,6% menor, sendo de R\$134,14 h⁻¹.

De acordo com os resultados nota-se que o aumento da velocidade eleva o CH da subsolagem para ambas configurações de rodado. Na configuração rodado simples o CH da operação aumentou 2,1% de 3,2 km h⁻¹ para

4,2 km h⁻¹, e 7,4% de 4,2 km h⁻¹ para 4,9 km h⁻¹. Na configuração rodado duplo o aumento do CH foi de 5,8 e 2% de 3,2 km h⁻¹ para 4,2 km h⁻¹ e 4,2 km h⁻¹ para 4,9 km h⁻¹ respectivamente. O CH maior na maior velocidade de deslocamento e/ou configuração por rodado simples foi obtido em função do maior Chc atribuído a esses fatores (Tabela 4).

O CH apresentado é semelhante ao obtido por Simões, Silva e Fenner (2011), que na operação de subsolagem florestal com trator agrícola de pneus foi de US\$35,79 h⁻¹, o equivalente a R\$141,01 h⁻¹ considerando o preço médio do dólar de R\$3,94 em 2019 no

Brasil, conforme Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2020). O resultado corrobora ainda com o custo de R\$145,00 h⁻¹ da subsolagem em preparo de solo para plantio de cana-de-açúcar, calculado pela Associação dos fornecedores de cana de Guariba-SP (2019). Contudo, o CH difere do calculado por Barbosa et al. (2015), de R\$85,17 h⁻¹ no preparo de solo com subsolador, possivelmente devido os autores terem utilizado subsolador de menor valor agregado, somente uma haste, e o preço do combustível ser menor ao utilizado nesse trabalho.

5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. **Sistema de Levantamento de Preços**. Brasília, DF: ANP, 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acesso em: 23 out. 2018.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data ASAE D497.7**. St. Joseph: ASABE standards, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO DOS FORNECEDORES DE CANA DE GUARIBA/SP. **Custos de Produção**: Custo de produção - Grande propriedade. Guariba: Socicana, 2019. Disponível em: <http://socicana.com.br/custos-de-producao/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Financiamentos**. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/simulador/?productCode=AOI_035. Acesso em: 24 out. 2018.

BARBOSA, L. P.; SIQUEIRA, W. C.; ABRAHAO, S. A.; CONCEIÇÃO, J. L.; OLIVEIRA, C. A. C. Desempenho operacional e análise de custo do conjunto mecanizado no preparo do solo para plantio florestal. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 746-763, 2015.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho da região Sudoeste dos Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 743-753, 2013.

BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M.; NAVARRO, Z. **O mundo rural no Brasil do século 21**: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

4 CONCLUSÕES

O consumo horário de combustível e patinagem são menores com rodado duplo e menor velocidade operacional.

Rodado duplo proporciona maior capacidade de campo efetiva.

O custo horário da subsolagem é menor com rodado duplo e menor velocidade operacional.

- CHAILA, S. Métodos de evaluación de malezas para estudios de población y de control. Malezas. **Revista de la Asociación Argentina para el Control de Malezas**, Buenos Aires, v. 14, n. 2, p. 1-78, 1986.
- CLARK, S. J.; LILJEDAHL, J. B. Model studies of single, dual and tandem wheels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 12, n. 2, p. 240-0245, 1969.
- COELHO, H.; FERNANDES, H. C.; CAMPOS, D. S.; TEIXEIRA, M. M.; LEITE, D. M. Deslizamento de rodados de tratores de pneus em diferentes operações agrícolas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 330-336, 2012.
- FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 117-127, 2015.
- FIGLIARELLI, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B. B.; SANDI, J.; FERREIRA, F. M.; LANÇAS, K. P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 2, p. 68-76, 2015a.
- FIGLIARELLI, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; MORELLI-FERREIRA, F.; SPADIM, E. R.; LANÇAS, K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 9, p. 903-909, 2015b.
- FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 333-339, 2010.
- GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo Argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Taxa de câmbio comercial para compra**: real (R\$) / dólar americano (US\$) – média anual. Brasília, DF: IPEA, 2020. Disponível em: peadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38590&module=M. Acesso em: 10 ago. 2020.
- JADOSKI, G. S.; PINHEIRO, T. D.; SANTOS JÚNIOR, P. S.; RODRIGUES, F. R. M. Título do Artigo. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 9, n. 2, p. 115-120, 2016.
- KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; TARSITANO, M. A. A.; RAPASSI, R. M. A.; VILELA, R. G. Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 102-109, abr. 2010.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; Challenges in the development of analytical soil compaction models. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1, p. 54-64, 2010.

KUCERA, H. L.; LARSON, K. L.; HOFMAN, V. L. **Field performance tests of front wheel assist tractors**. St. Joseph: ASAE, 1985. (Paper, 85-1047).

MACHADO, T. M.; LANÇAS, K. P.; FIORESE, D. A.; FERNANDES, B. B.; TESTA, J. V. Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1121-1125, 2015.

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

MOLIN, J. P.; MAGALHÃES, R. P.; FAULIN, G. D. C. Análise espacial da ocorrência do índice de cone em área sob semeadura direta e sua relação com fatores do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 442-452, 2006.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, R. P.; TRIGUEIRO, D.; SILVA, J. G.; MOTA, W. A. A avaliação energética de um trator 4x2 TDA equipado com rodados pneumáticos em função da lastragem com água. **Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 43-50, 2013.

PAPA, R. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Qualidade de latossolos vermelhos e Vermelho-amarelos sob vegetação nativa de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; SPAGNOLO, R. T.; BARROS, M. M.; BOAS, L. D. A. V. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora, na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.

SCHLOSSER, J. F. **Influencia de avance cinemático de las ruedas delanteras motoras em la eficiencia em tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

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

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. D.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

THEODORO, G. F.; GOLIN, H. O.; REZENDE, R. P.; ABREU, V. L. S.; SILVA, M. S. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 2, p. 25-30, 2018.

VALENTE, G. F.; SILVA, V. F. A.; SILVA, J. N.; PINTO, D. R. S.; GALVÃO, J. R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde**, Pombal, v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 21-26, 2016.