

Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola
Operational performance and physical attributes of the soil under traffic of agricultural tractors

Desempeño operativo y atributos físicos del suelo bajo tráfico de tractores agrícolas

Recebido: 04/11/2020 | Revisado: 07/11/2020 | Aceito: 11/11/2020 | Publicado: 15/11/2020

Julia Seronatto Savioli

ORCID: <https://orcid.org/0000-7915-072X>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: julia-savioli@hotmail.com

Fernanda Francisco dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-2648>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: fernandaf.agronomia@gmail

Fabrcio Leite

ORCID: <https://orcid.org/0001-9020-141X>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: fleite2@uem.br

Reny Adilmar Preste Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3155-1409>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: raplopes@uem.br

Resumo

O incremento do peso e tráfego de máquinas agrícolas associadas à redução do tempo de execução das atividades, tem resultado em maior compactação do solo. Assim, os objetivos da pesquisa foram avaliar os parâmetros físicos e dinâmicos do solo e o desempenho operacional em função de diferentes níveis de tráfego de trator agrícola sobre distintas condições de superfícies de pista. O experimento foi conduzido em uma área da Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus Regional de Umuarama. O delineamento experimental foi um arranjo fatorial em blocos casualizados, sendo os fatores quatro (4) condições de superfície de pista (solo gradeado, roçada baixa, roçada média e sem roçar), com cinco níveis de tráfego (1; 2; 3; 4 e 5 passadas do trator no mesmo rastro) e 3 repetições. O efeito do tráfego com relação

ao recalque no solo que apresentou maior diferença entre os tratamentos foi na primeira passada do trator sobre o mesmo rastro. A palha em superfície reduziu a resistência à penetração, densidade e recalque, porém aumentou a umidade do solo.

Palavras-chave: Força de tração; Resistência ao rolamento; Compactação do solo.

Abstract

The increase in the weight and traffic of agricultural machinery associated with the reduction in the time of execution of activities, has resulted in greater soil compaction. Thus, the objectives of the research were to evaluate the physical and dynamic parameters of the soil and the operational performance in function of different levels of traffic of agricultural tractor under different conditions of track surfaces. The experiment was carried out in an area of the State University of Maringá - UEM, Umuarama Regional Campus. The experimental design was a factorial arrangement in randomized blocks, the factors being four (4) track surface conditions (grated soil, low mowing, medium mowing and without mowing), with five traffic levels (1; 2; 3; 4 and 5 strides of the tractor on the same track) and 3 repetitions. The effect of traffic in relation to settlement on the ground that showed the greatest difference between treatments was in the first pass of the tractor on the same trail. The straw on the surface reduced the resistance to penetration, density and settlement, but increased the soil moisture.

Keywords: Traction force; Rolling resistance; Soil compaction.

Resumen

El incremento en el peso y tránsito de maquinaria agrícola, asociado a la reducción del tiempo de ejecución de las actividades, ha resultado en una mayor compactación del suelo. Así, los objetivos de la investigación fueron evaluar los parámetros físicos y dinámicos del suelo y el desempeño operacional en función de diferentes niveles de tráfico de tractores agrícolas bajo diferentes condiciones de superficie de vía. El experimento se llevó a cabo en un área de la Universidad Estadual de Maringá - UEM, Recinto Regional de Umuarama. El diseño experimental fue un esquema factorial en bloques al azar, siendo los factores cuatro (4) condiciones de superficie de la vía (suelo rallado, corte bajo, corte medio y sin corte), con cinco niveles de tránsito (1; 2; 3; 4 y 5 zancadas del tractor en la misma pista) y 3 repeticiones. El efecto del tráfico en relación al asentamiento en el suelo que mostró la mayor diferencia entre tratamientos fue en la primera pasada del tractor en la misma vía. La paja en la superficie redujo la resistencia a la penetración, la densidad y el asentamiento, pero aumentó la humedad del suelo.

Palabras clave: Fuerza de tracción; Resistencia a la rodadura; Compactación del suelo.

1. Introdução

Atualmente, os gestores de sistemas agrícolas são desafiados a intensificar os cultivos, aumentando sempre a produtividade das culturas, sendo realizados, quase em sua totalidade, de maneira mecanizada, de tal modo que o tráfego de máquinas é intenso e a mobilização do solo é limitada à linha de semeadura (Valadão et al., 2015).

Neste contexto, o incremento do trânsito de máquinas agrícolas, o aumento da dimensão e peso destas máquinas, associado à redução de tempo para execução das atividades tem ocasionado que, geralmente, as operações sejam executadas sem respeitar as condições físicas e dinâmicas do solo, resultando em compactação do solo (Trein et al., 2009).

A mecanização, segundo Fontanela (2008), é responsável pela deterioração acelerada das condições do solo, sendo o tráfego excessivo, sem o controle das diversas condições do mesmo, o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do maquinário sobre o solo.

O tráfego de máquinas e implementos agrícolas durante as diversas etapas da produção, acaba gerando uma compressão dos solos agrícolas, decorrente das operações mecanizadas, afetando os atributos físicos do solo, provocando aumento na densidade e na resistência à penetração, reduz sua porosidade total que, por sua vez, exercerá influência na capacidade de retenção de água, aeração, drenagem e condutividade hidráulica, afetando assim, a produtividade das culturas (Bonfim et al., 2010; Fontanela, 2008).

A manutenção da qualidade física do solo é imprescindível para preservação do ambiente e maximização da produtividade, a fim de se obter êxito no cultivo das culturas. Com o aumento da produtividade no campo, é necessário encontrar formas mais conservacionistas de desenvolvimento do uso do solo, entretanto, eliminar completamente o tráfego de máquinas nos sistemas agrícolas comercial é inviável, porém alternativamente o número, a intensidade e a aleatoriedade do tráfego podem ser reduzidos, bem como as manobras nas extremidades da área e uso de palhadas (Cortez et al., 2014).

Neste contexto o ensaio de máquinas agrícolas pode proporcionar resultados para um melhor planejamento na agricultura, uso de estratégias para a redução dos impactos ambientais proporcionados pela atividade. Portanto, para cada condição de solo e operação agrícola, existe um implemento ou máquina adequado. Pois o solo deve ser preparado com o mínimo de mobilização, não implicando, com isso, diminuição da profundidade de operação,

mas sim redução do número de operações, mantendo os resíduos culturais, total ou parcialmente, sobre a superfície, trazendo benefícios para a sustentabilidade ambiental e também, muitas vezes, maior economia. Observa-se, entretanto, que a maior parte dos equipamentos utilizados na mobilização do solo não atende a algumas dessas condições ditas como ideais (Carvalho et al., 2007).

A aplicação destes resultados tende a se tornar cada vez mais comum onde o desenvolvimento prioriza melhores ganhos econômicos e menores impactos ambientais (Mahl et al., 2008).

Portanto, a presente pesquisa teve como objetivos avaliar os parâmetros físicos e dinâmicos do solo e o desempenho operacional em função de diferentes níveis de tráfego de trator agrícola sobre distintas condições de superfícies de pista.

2. Metodologia

O projeto de pesquisa foi desenvolvido na Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional de Umuarama – PR, localizada nas coordenadas 23°47'21" Sul, 53°15'29" Oeste e altitude de 402 m. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico de textura arenosa (EMBRAPA, 2017).

O delineamento experimental foi arranjo fatorial em blocos casualizados, sendo os fatores quatro (4) condições de superfície de pista (solo gradeado, roçada baixa, roçada média e sem roçar), com cinco níveis de tráfego (1; 2; 3; 4 e 5 passadas do trator no mesmo rastro e 3 repetições. A área experimental possuía 100 m de comprimento e 27 m de largura, dividida em parcelas com dimensões de 20 m de comprimento e 6,75 m de largura, totalizando 60 unidades experimentais. A pista foi preparada por uma roçadora montada no sistema de levante hidráulico de 3 pontos do trator, para a roçada média a roçadora estava a uma altura de 30 cm da superfície, na roçada baixa a roçadora estava rente à superfície do solo. Na parcela gradeada utilizou-se uma grade niveladora intermediária 28 polegadas de diâmetro e espaçamento entre discos de 27 cm.

O tráfego foi realizado pelo trator agrícola da marca John Deere, modelo 7515, com potência nominal no motor de 103 kW (140 cv), massa em ordem de marcha lastrado de 80 kN, com tração dianteira auxiliar ligada, marcha B2 e rotação do motor de 1900 rpm, velocidade teórica de 6,0 km h⁻¹, com rodados dianteiros 18.4-26 R1 e traseiros 24.5-32. A pressão de inflação dos pneus utilizada foi 110 kPa no rodado dianteiro e 124 kPa no rodado traseiro (16 e 18 psi, respectivamente). O trator estava tracionando uma carreta distribuidora

de adubo orgânico líquido, com peso de 1650 kg e lotação na capacidade máxima de 6.000 litros com água colocando o volume admitido para simular carga e facilitar o tráfego na área experimental.

A resistência do solo à penetração, foi obtida utilizando-se um penetrômetro de anel dinamométrico da marca CONTEMCO, sendo os dados coletados em todos os tratamentos a cada passada, em quatro diferentes profundidades 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm.

Na determinação do recalque do pneu ao solo, foi utilizada uma mira topográfica, com precisão em milímetros, medindo o aprofundamento do rastro em cada passada do trator. A densidade e umidade do solo foram determinadas pelo método do anel volumétrico (MAV) sendo coletadas amostras indeformadas num anel (cilindro metálico) de volume conhecido e efetuada em 2 níveis de profundidade (0-10 e 10-20 cm), amostras foram pesadas e levadas a estufa para secagem a temperatura de 105°C, até obtenção da massa constante (EMBRAPA, 2017).

Para a determinação da massa de matéria seca foi utilizado um quadrado vazado de 0,25 m², em que foram colhidas 3 amostras aleatórias em cada pista, totalizando 9 amostras na área experimental. Estas amostras foram secas em estufa a 65 °C por 72 horas, conforme metodologia proposta por Salman et al. (2006).

Os parâmetros do desempenho operacional do tráfego do trator sobre diferentes condições de superfície do solo foram os seguintes: patinagem, força de tração, potência disponível na barra de tração, consumo horário de combustível, resistência ao rolamento, rendimento tratório e carga dinâmica sobre os rodados.

A patinagem dos rodados foi obtida por sensores geradores de pulsos (encoders) marca S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo E1B1-60-PNP-12V, instalados no centro dos rodados do trator e os resultados foram obtidos conforme a equação de Mialhe (1980).

$$P = \left(\frac{nc - ns}{nc} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

P = Patinagem (%);

nc = Giros da roda motriz, com carga;

ns = Giros da roda motriz, sem carga.

O número de giros da roda motriz sem carga (ns) e com carga (nc) foi obtido com o trator no campo em solo com os diferentes níveis de cobertura vegetal.

Na determinação da força requerida na barra de tração, utilizou-se uma célula de carga com capacidade de 100 KN, marca R&S, modelo TF-400. Conforme os valores obtidos, a força de tração média foi determinada pela equação (2) (Gabriel Filho et al., 2010).

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (2)$$

Onde:

F_i = Força de tração instantânea (kN);

F_m = Força de tração média (kN);

n = Número de dados registrados.

A potência na barra de tração, (equação 3) e a transferência de peso (equação 4), foram calculadas de acordo com Gabriel Filho et al. (2010).

$$PB = \frac{F * V}{3,60} \quad (3)$$

Onde:

PB = Potência na barra de tração (kW);

F = Força de tração (kN);

V = Velocidade de deslocamento (km h^{-1}).

$$T_p = F_t * \frac{Y}{D_e} \quad (4)$$

Onde:

T_p = Transferência de peso (kN);

F_t = Força de tração (kN);

Y = Altura na barra de tração (m);

D_e = Distância entre eixos (m).

Para avaliação do consumo horário de combustível utilizou-se um medidor volumétrico de consumo (fluxômetro) da marca OVAL M-III, modelo LSN 40, sendo a

unidade de leitura em litros por hora com precisão de 1 mL pulso⁻¹. Os pulsos gerados pelo fluxômetro volumétrico, convertido em volume consumido por hora (L h⁻¹) foi calculado (equação 5) conforme Gabriel Filho et al. (2010).

$$C_c = \frac{\sum_p * 3,60}{\Delta_t} \quad (5)$$

Onde:

C_c = Consumo horário de combustível (L h⁻¹);

\sum_p = Somatório de pulsos, equivalente ao somatório de mL de combustível;

Δ_t = Tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,60 = Fator de conversão.

A resistência ao rolamento e rendimento tratório foi determinada, segundo Brixius (1987), equações 6 e 8 respectivamente.

$$RR = Ft * \left[\frac{1}{Bn} + 0,04 + \left(0,50 * \frac{Pat}{Bn^{0,50}} \right) \right] \quad (6)$$

Em que:

RR = Resistência ao rolamento (kN);

Ft = Força de tração (kN);

Pat = Patinação das rodas (%);

Bn = Índice adimensional, calculado através da equação 7.

$$Bn = \left(\frac{Clbd}{W} \right) \left(\frac{1 + 5 \left(\frac{\delta}{h} \right)}{1 + 3 \left(\frac{b}{d} \right)} \right) \quad (7)$$

Em que:

Cl = índice de cone (kPa);

b = largura do pneu sem carga (m);

h = altura do pneu (m);

d = diâmetro do pneu (m);

w= carga vertical aplicada no rodado (kN);

δ = deflexão do pneu (m).

$$RT = \left[(1 - Pat) * \frac{TL}{TB} \right] \quad (8)$$

em que:

RT = Rendimento tratório (%);

Pat = Patinagem das rodas (%);

TL = Tração líquida (kN);

TB = Tração bruta (kN).

Onde TL e TB são representadas pelas equações 9 e 10.

$$TL = Cd * \left[\left(0,88 * (1 - e^{(-0,10 * Bn)}) * (1 - e^{(-7,50 * Pat)}) \right) - \left(\frac{1}{Bn} \right) - \left(0,50 * \left(\frac{Pat}{Bn^{0,50}} \right) \right) \right] \quad (9)$$

$$TB = Cd * \left[\left(0,88 * (1 - e^{(-0,10 * Bn)}) * (1 - e^{(-7,50 * Pat)}) \right) + 0,04 \right] \quad (10)$$

Em que:

Cd = Carga dinâmica (kN);

e = Base dos logaritmos neperianos;

Bn = Índice adimensional;

Pat = Patinagem das rodas (%).

A carga dinâmica será obtida pela equação 11.

$$Cd = Pe + \left(Ft * \frac{Y}{De} \right) \quad (11)$$

Onde:

Cd = Carga dinâmica sobre o rodado (kN);

Pe = Carga estática sobre o rodado (kN);

Ft = Força de tração média (kN);

y = Altura da barra de tração (m);

De = Distância entre eixos (m).

Para a aquisição dos sinais gerados pelos sensores instalados nos rodados, no sistema de alimentação e na barra de tração, foi utilizada uma central de coleta de dados da marca Micrologger CR23X, acoplada ao trator e aos sensores de força na barra de tração (Célula de Carga), patinagem dos rodados (Encoder) e consumo de combustível (Fluxômetro). Para acessar os dados levantados a campo gravados no Micrologger CR23X, utilizou-se um computador móvel, equipado com o programa computacional denominado SADMA - Sistema de Análise de Desempenho de Máquinas Agrícolas (Lopes et al., 2010).

As variáveis obtidas como recalque, densidade e umidade do solo, considerados como dados quantitativos conforme Pereira et al. (2018), foram submetidas à análise de variância a 5% de probabilidade e suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey. As variáveis qualitativas de desempenho operacional do trator como patinagem, força e potência na barra de tração, consumo horário, resistência ao rolamento, rendimento tratório e carga dinâmica foram submetidas a análise de regressão conforme Pereira et al. (2018). O programa estatístico computacional utilizado foi o Sisvar e os valores de resistência do solo à penetração foram submetidos a análise de variância com superfície de resposta.

3. Resultados e Discussão

De acordo com os valores médios de recalques, na Tabela 1, observa-se que houve diferença estatística para passada 1 entre todos os tratamentos, na qual superfície gradeada apresentou maiores valores de recalque, nas passadas 1 e 5. Para a superfície sem roçar, na passada 2 foi a única que apresentou os menores valores de recalques, já nas passadas 3 e 4 o valor de recalque foi igual para todos, o volume médio de palha na superfície de 0,64 t/ha roçada baixa, 0,75 t/ha na roçada média e 1,00 t/ha na pista sem roças. Segundo Hilbing et al. (2007) constataram que no tráfego com palha, obteve-se um efeito significativo sobre o solo em relação à superfície sem palha este resultado ocorreu por falta de proteção pois a palha promove o amortecimento do tráfego no solo.

Tabela 1 - Valores médios de recalque (cm) sob quatro condições de pistas, solo gradeado, roçada baixa, média e alta, em cinco níveis de passadas – Umuarama, PR, 2020.

PISTA	PASSADAS				
	1	2	3	4	5
Gradeado	5,80 A	6,47 A	6,00 A	5,37 A	7,70 A
R. Baixa	5,24 AB	7,00 A	5,17 A	4,43 A	5,43 AB
R. Média	4,28 BC	6,13 A	5,10 A	3,37 A	4,13 B
S/ Roçar	3,67 C	4,33 B	4,37 A	3,70 A	3,10 B
CV (%)					22,41

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, $p < 0,05$. CV= coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Tabela 2, na camada de 0-10 cm a testemunha sem roçar possui a menor densidade comparada aos demais tratamentos, isto ocorre com o aumento no teor de matéria orgânica do solo, promovendo uma estabilidade estrutural, reduzindo a densidade do solo, pois o material orgânico apresentar densidade menor do que os sólidos minerais do solo (Marcolin et al., 2011; Libardi, 2012). Segundo Schaffer et al. (2007), a densidade do solo, constitui em uma variável pouco sensível aos efeitos do tráfego, de modo que, em alguns casos, a pressão exercida pelo trator não as modificam facilmente. Os menores valores de umidade do solo na camada de 0-10 cm ocorrem na pista SG e TG, pois o solo está descoberto, evaporando a água facilmente, é evidente que os maiores teores de umidade de solo foram nos tratamentos com palhadas, pois o material vegetal conserva a umidade em subsuperfície e estruturação do solo (Cortez et al., 2014).

Tabela 2 – Valores médios de densidade e umidade do solo na camada 0-10 e 10-20 cm, em relação a diferentes condições de superfícies, sendo testemunha sem roçar (TS), testemunha da roçada baixa (TB), testemunha da roçada média (TM), testemunha do solo gradeado (TG), solo gradeado (SG), roçada baixa (RB), roçada média (RM) e sem roçar (SR) – Umuarama, PR, 2020.

PISTA	DENSIDADE (g/cm ³)		UMIDADE DO SOLO (g/g)	
	0-10 cm	0-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
TS	1,66 B	1,82 A	0,18 A	0,28 A
TB	1,70 AB	1,78 A	0,19 A	0,25 AB
TM	1,70 AB	1,76 A	0,16 AB	0,22 AB
SG	1,83 AB	1,81 A	0,15 B	0,16B
RB	1,82 AB	1,77 A	0,20 A	0,18 B
TG	1,84 AB	1,84 A	0,14 B	0,16 B
RM	1,84 AB	1,77 A	0,18 A	0,18 B
SR	1,85 A	1,84 A	0,18 A	0,19 B
CV(%)	5,20	5,40	18,30	20,14

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey $p < 0,05$. CV = coeficiente de variação.

Fonte: Os próprios autores.

Os valores estimados para superfície de resposta da resistência do solo à penetração (RP), estão relacionadas as Figuras 1, 2, 3 e 4, de acordo com níveis de passadas no solo em profundidade. Observa-se que na Figura 1, que representa o solo de roçada média, onde o volume médio de palha foi de 0,75 t/ha, o ponto de máxima resistência ocorre na profundidade de 23,34 cm, e sobre esta superfície observa-se que a cada passada há um aumento de 0,3450 MPa na RP. Já na pista com roçada média (Figura 2), o volume médio de palha de 0,64 t/ha, neste caso, apresentou um menor valor de RP. Este resultado ocorre por conta da proteção, pois a palha promove o amortecimento do solo, o ponto de máxima de RP ocorreu na profundidade de 25,29 cm e a cada passada aumenta-se 0,0769 MPa na RP. Segundo HILBING et al. (2007), na avaliação da capacidade da palha em absorver parte das pressões aplicadas por máquinas agrícolas foi verificado que no tráfego com palha, gerou redução das pressões exercidas sobre o solo em relação ao sem palha.

Figura 1 - RP (Resistência do solo à penetração, MPa), em pista de roçada média. Umuarama, PR, 2020.

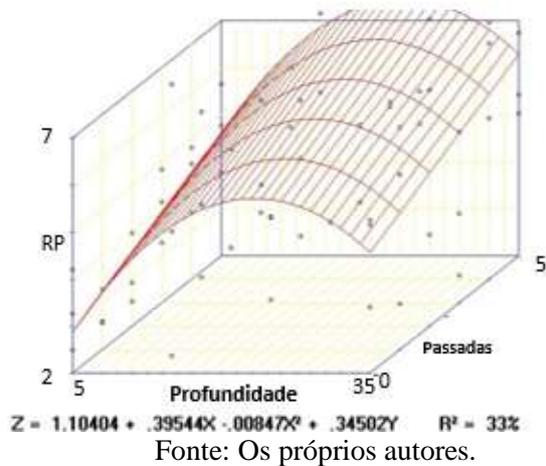
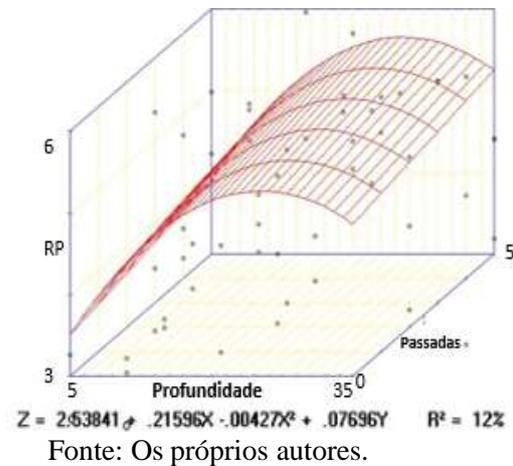


Figura 2 - RP (Resistência do solo à penetração, MPa), em pista de solo roçada baixa. Umuarama, PR, 2020.



Avaliando a pista de solo gradeado (Figura 3), o seu ponto de máxima RP ocorreu na profundidade de 32,52 cm e a cada passada eleva-se a RP em 0,3989 MPa, no qual apresentou um valor maior, quando comparado ao solo de roçada baixa, pois solo estava descoberto.

A pista sem roçar, de acordo com a Figura 4, possui volume médio de palha de 1,00 t ha⁻¹ onde o seu ponto de máxima RP ocorreu em 23,17 cm de profundidade e a cada passada eleva-se a RP em 0,3919 MPa, desta forma promoveu uma proteção melhor do solo quando comparada a pista de roçada média.

Figura 3 - RP (Resistência do solo à penetração, MPa), em pista de solo gradeado. Umuarama, PR, 2020.

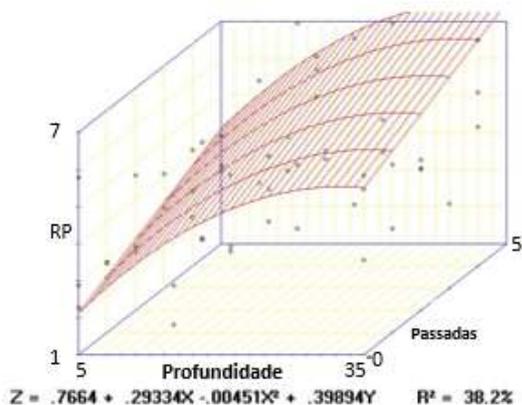
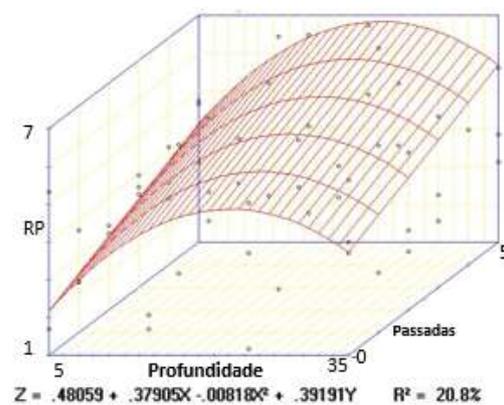


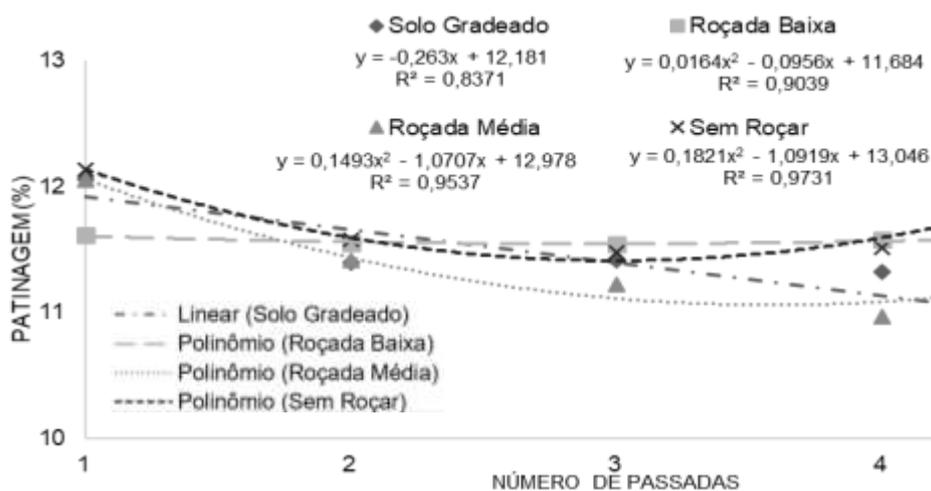
Figura 4 - RP (Resistência do solo à penetração, MPa), em pista sem roçar. Umuarama, PR, 2020.



As patinagens do trator (Figura 5) entre as superfícies avaliadas apresentaram os seguintes valores de ponto máximo de patinagem: roçada Baixa $y = 11,54\%$, roçada média $y = 12,05\%$, sem roçar = $12,40\%$. Um dos fatores que causa a patinagem é o tipo de superfície em contato com a banda de rodagem dos pneus (Herzog et al., 2002).

Na primeira passada do trator, as condições de superfícies que apresentaram os maiores valores de patinagem foram, respectivamente, superfície gradeada, superfície com roçada média de palha e superfície sem roçar. Na sequência a patinagem atingiu níveis intermediários, sendo linear apenas para solo com roçada baixa. Esses resultados mostram que as condições da superfície do solo podem alterar o esforço tratorio para deslocar implementos, pois a tração está diretamente relacionada com a patinagem do trator.

Figura 5 - Patinagem do rodado relacionado com o número de passadas em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.

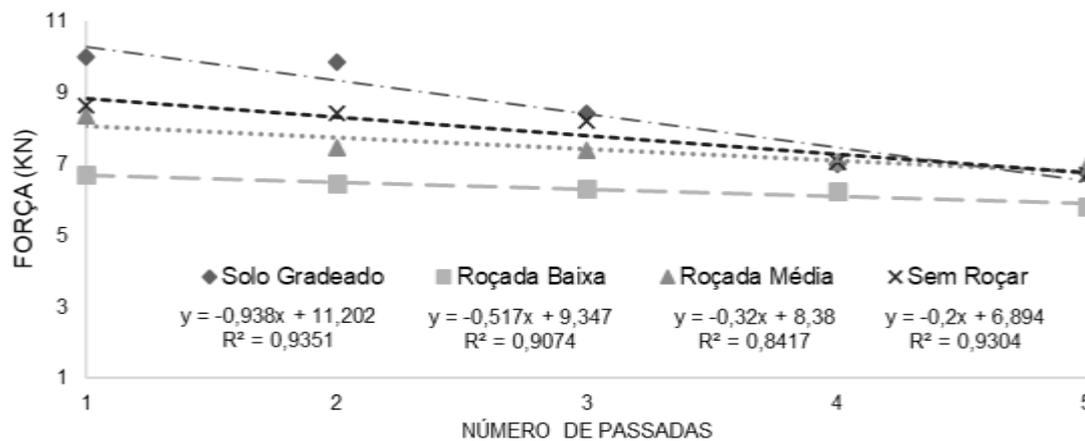


Fonte: Os próprios autores.

A tração é a força que um trator desenvolve ao tracionar uma carga, e o ponto do trator utilizado para pôr à disposição do implemento. Na Figura 6 observa-se que a força requerida na barra de tração diminui linearmente, a medida em que aumenta o número de passadas, independentemente das condições de superfícies avaliadas, pois, a medida, pois a medida que aumenta o tráfego nas pistas o solo vai se tornando mais estável, ficando mais compacto e firme, fazendo com que esta força reduza em ambas as superfícies expostas, o que está de acordo com Gabriel Filho et al. (2010). Outro importante ponto a ser questionado é que na primeira, segunda e terceira passada do trator o solo gradeado foi quem apresentou maior valor de força em relação a todas as outras superfícies, isso aconteceu porque o solo estava

mais solto, promovendo assim maior resistência ao rolamento, como pode ser observado na Figura 10. O menor valor observado foi na roçada baixa, onde a palha conseguiu manter mais uniforme a superfície de tráfego.

Figura 6 - Força de tração do trator agrícola relacionado com o número de passadas em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.



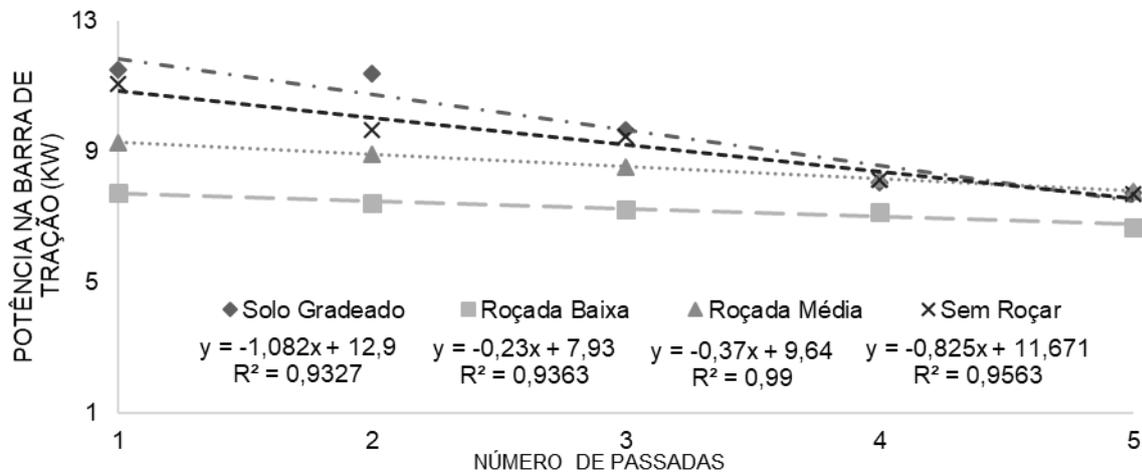
Fonte: Os próprios autores.

Quanto à potência na Barra de tração, é possível verificar na Figura 7, que houve um decréscimo linear em todas as condições de superfícies avaliadas, pois estão diretamente relacionados à força de tração desenvolvida pelo trator, conforme pode ser observado na figura 6, pois, a potência na barra de tração é a força de tração vezes a velocidade de operação. A tração sofre influência diretamente pelo sistema rodado/solo. Uma das propriedades do solo que mais influenciam o desempenho de tração de um trator agrícola é a condição de superfície. (Herzog, 2002).

A pista com solo gradeado exigiu maior potência em relação a pista com palha, isso pode ser explicado pela maior patinagem. As condições da superfície do solo afetam a capacidade do trator em desenvolver tração, pois alteram também as condições de patinagem do rodado do trator (Herzog, 2002).

Segundo Mahl (2006) a palhada na superfície do solo dificulta a aderência dos rodados do trator ao solo podendo aumentar a patinagem dos mesmos, causando por consequência aumento significativo da demanda de força de tração e potência na barra.

Figura 7 - Potência na barra de tração sobre diferentes intensidades de tráfego em quatro diferentes condições de superfícies. Umuarama, PR, 2020.

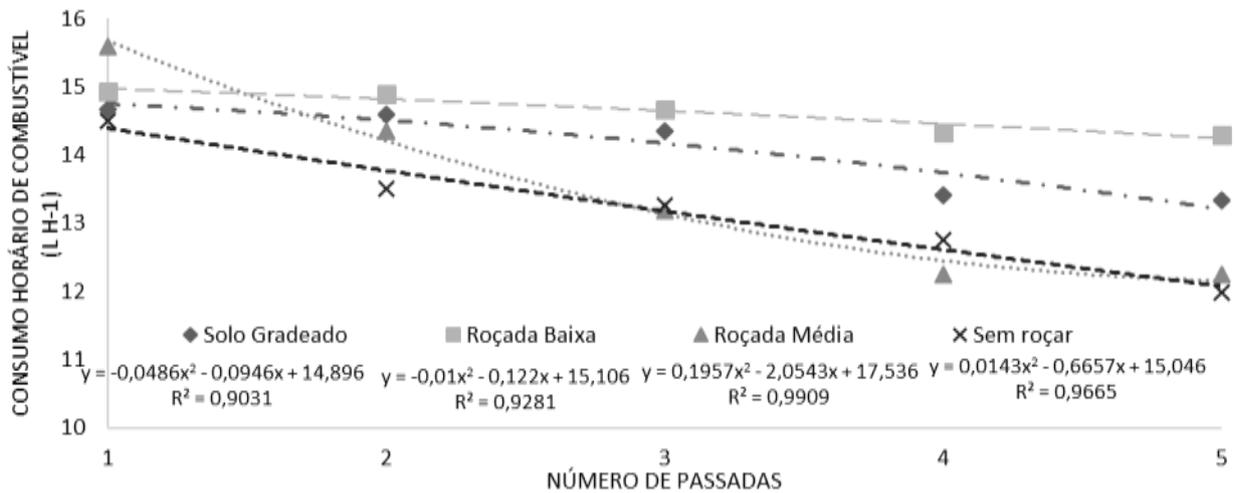


Fonte: Os próprios autores.

Avaliando o Consumo horário de combustível, na Figura 8, a superfície gradeada apresentou o ponto de máximo consumo com valor de $Y = 14,92 \text{ L h}^{-1}$, na superfície de roçada baixa apresentou o ponto de consumo horário máximo de $Y = 15,13 \text{ L h}^{-1}$, na superfície de roçada média o ponto de consumo horário máximo foi $Y = 15,45 \text{ L h}^{-1}$ e na superfície sem roçar ponto de consumo horário máximo foi $Y = 14,85 \text{ L h}^{-1}$.

As superfícies de solo gradeado e sem roçar, apresentaram resultados de consumo horário de combustível semelhantes, pois, para manter a rotação do motor e exercer maior força de tração, essas condições de superfície exigiram maior consumo na primeira passada do trator, fazendo com que o trator consumisse mais combustível na primeira passada. Esses valores de consumo mostram um comportamento semelhante ao da patinação do trator, pois à medida que a patinação aumentou o consumo também se elevou. Essa relação foi relatada por Jenane et al. (1996) e, de acordo com Mialhe (1996), maior consumo de combustível significa menor desempenho do trator.

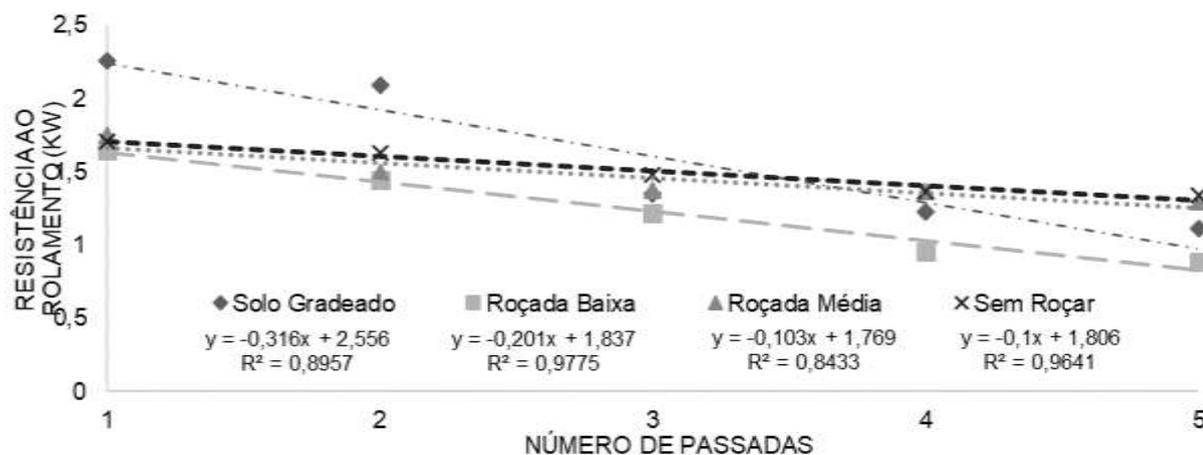
Figura 8 - Consumo horário de combustível relacionado com o número de passadas em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.



Fonte: Os próprios autores.

A resistência ao rolamento dos rodados foi maior na primeira passada do trator em todas as condições de superfícies avaliadas, sendo mais evidente na superfície gradeada (Figura 9). Esse comportamento é esperado, pois, o solo encontra-se mais desagregado formando um empolamento à frente do rodado, assim como também maior recalque (aprofundamento do solo), conforme resultado apresentado na Tabela 1. Michelazzo (2018), comenta que o aumento da resistência ao rolamento requer elevação da potência requerida para o giro dos rodados, aumentando assim o consumo de combustível. Bertollo et al. (2019), também verificaram maior resistência ao rolamento com o aprofundamento dos rodados no solo, exigindo assim, maior força de tração. As superfícies sem roçar e com roçada média apresentaram resistência ao rolamento constante, conforme foram aumentando o número de passadas do trator no mesmo rastro, podendo ser atribuído à menor mobilização do solo e ao amortecimento promovido pela palha, evitando o aprofundamento dos rodados no solo (recalque dos pneus). Em todas as condições de superfícies avaliadas, observa-se uma diminuição da resistência ao rolamento conforme aumentaram o número de passadas do trator no mesmo rastro e também ao aumento da resistência do solo à penetração.

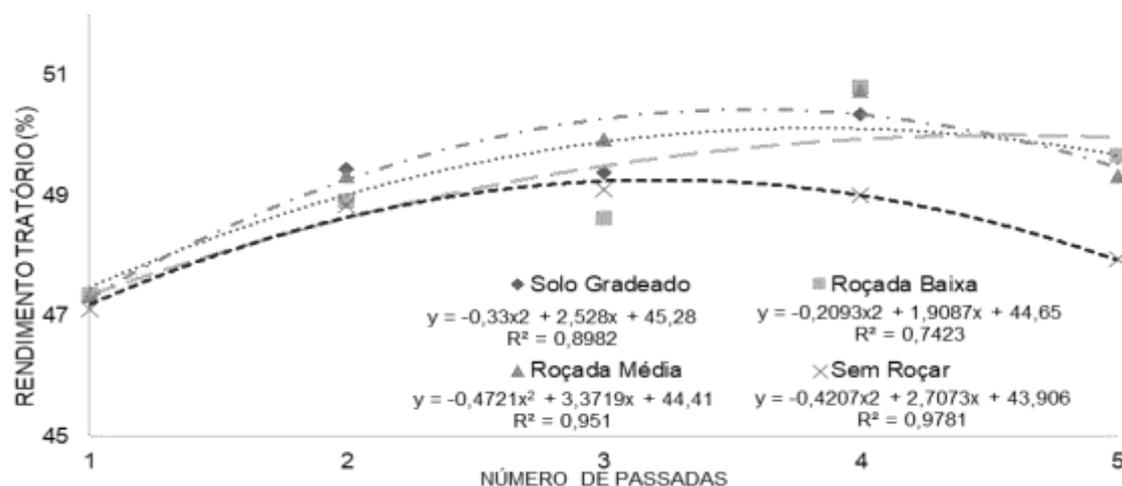
Figura 9 - Resistência ao rolamento relacionado com o número de passadas em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.



Fonte: Os próprios autores.

O rendimento tratório (Figura 10) foi maior na condição de superfície com roçada média, apresentando o ponto de máximo rendimento $y = 50,43$ e a condição de superfície do solo gradeado apresentou o seu ponto de máximo rendimento tratório $y = 48,12$, o ponto de máximo rendimento tratório da roçada baixa $y = 48$ e sem roças $y = 49,01$. Esses resultados mostram a eficiência que o trator desenvolve tração quando a superfície do solo passa da condição gradeado para coberto com palhada, o que está de acordo com ASAE (1999) e Gabriel Filho et al. (2010).

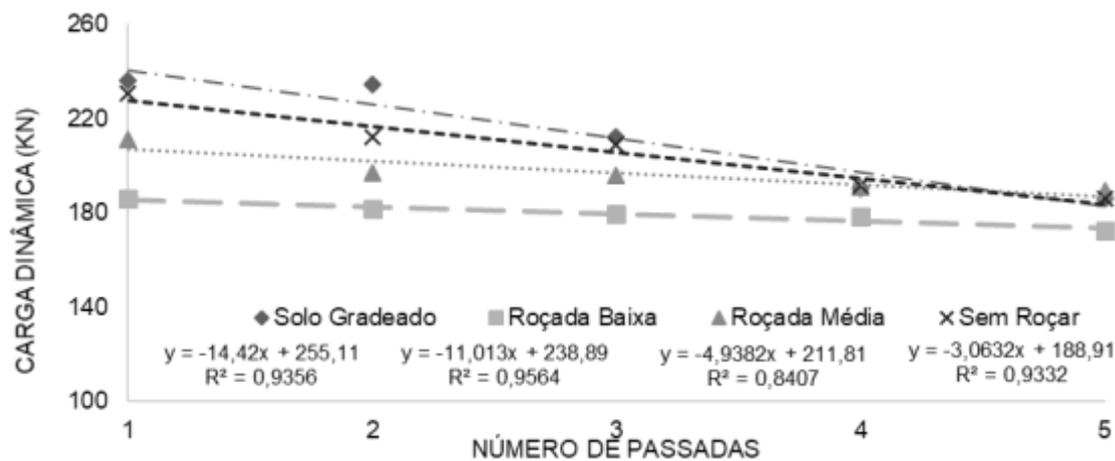
Figura 10 - Rendimento tratório em função do número de passadas do trator em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.



Fonte: Os próprios autores.

A Carga Dinâmica do trator (Figura 11) decresce à medida que passa pelo mesmo rastro, independente da superfície, podendo-se relacionar com a Figura 1, onde a força de tração também reduz linearmente, por conta do solo que se torna mais estável a cada passada onde é exposto ao tráfego. Segundo Mialhe (1980), a carga dinâmica é influenciada pela altura da barra de tração e pela distância entre eixos dos tratores agrícolas.

Figura 11. Carga Dinâmica do trator relacionado com o número de passadas em quatro diferentes superfícies. Umuarama, PR, 2020.



Fonte: Os próprios autores.

4. Considerações Finais

A palha em superfície reduziu a resistência do solo à penetração e o recalque dos rodados, apresentando um efeito de amortecimento. Na condição de superfície do solo gradeado houve maior resistência ao rolamento e força de tração requerida na primeira passada do trator sobre o mesmo rastro. A condição de superfície roçada média apresentou o melhor rendimento tratório e desempenho operacional por apresentar maior volume de palha sobre a superfície.

Desta maneira, conclui-se que, é de suma importância a busca por alternativas que amenizem os efeitos de tráfegos de maquinários agrícolas sobre os atributos físicos do solo, avaliando nos próximos trabalhos dessa pesquisa novas tecnologias de rodados agrícolas, diferentes tipos de palhada ou técnicas de manejo sustentável de cultivo, como por exemplo, a integração lavoura pecuária floresta que proporcionem assim, um manejo adequado de cultivo com baixo grau de compactação do solo.

Referências

ASAE S296.4 DEC95 Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 119-121 1999.

Bertollo, G. M., Schlosser, J. F., Bertinatto, R., Farias, M. S., Martini, A. T., Santos, G. O. Tráfego controlado de máquinas em comparação ao aleatório no desempenho de trator em semeadura. *Revista Agrarian, Dourados*, 12, 479 – 486.

Bonfim-Silva, E. M., Silva, T. J., Kazama, E. H. Densidade do solo e água disponível em sistemas de manejo de recuperação de pastagem. *Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer, Goiânia*, 6(11).

Brixius, W. W. Traction prediction equation for bias ply tires. St. Joseph: Editora ASAE Paper, 1987. 83-1067.

Carvalho, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 27(1), 229-237.

Cortez, J. W., Olszewski, N., Pimenta, W. A., Patrocínio filho, A. P., Souza, E. B., Nagahama, H. J. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 38, 1000-1010.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária - Centro nacional de pesquisa de solos. Manual de métodos de análise de solo. 3ed Rio de janeiro 2017. 573p.

Fontanela, E. Parâmetros físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego. 2008. 72p. Dissertação (Mestrado em ciências do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

Gabriel filho, A., Monteiro, L.A., Lanças, K.P., Guerra, S.P.S., Jesuino, P.R. Influência da altura das garras dos pneus de um trator em área de plantio direto. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 14(10), 1123-1128.

Herzog, R. L. S., Levien, R., Beutler, J. F., Trein, C. R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: Congresso brasileiro de engenharia 31, 2002. Salvador. Anais. Salvador: UFB, 2002.

Hilbig, V. B., Brandt, A. A, Zink, A. D. Reichert, J. M., Reinert, D. J.; Horn, R. Palha sobre o solo dissipa a energia aplicada pelas máquinas agrícolas? In: XXXI Congresso brasileiro de ciências do solo, 31, 2007, Gramado. Anais. Gramado: UFPel,4p.

Jenane, C., Bashford, L. L., Monroe, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 64, 131 – 138.

Libardi, P. L. Dinâmica da Água no Solo. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, (2a ed.), 352.

Lopes, R. A. P., Martins, E. A. S., Santos, R. P. B., Vieira, L. H. S. Sadma - Sistema de Análise de Desempenho de Máquinas Agrícolas. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 39, 2010, Vitória. Anais. Vitória - ES: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.

Mahl, D. Desempenho de semeadora em função de mecanismo de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho. 2006, 158p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, 2006.

Mahl, D., Silva, R. B., Gamero, C. A., Silva, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 2008, 30(5), 741-747.

Marcolin, C. D., Antonio, V. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. *Revista Acta Scientiarum, Agronomy*, Maringá, 33(2), 349-354, 2011.

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

Mialhe, L. G. Máquinas motoras na agricultura. São Paulo: Editora EPUEDUSP, 2, 1980. 345p.

Michelazzo, M. B. Mecanização de bitola larga para redução do tráfego e do custo de colheita da cana-de-açúcar. 2018. 127p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas,2018.

Pereira, A. S., Shitsuka, M. D., Parreira, J. F., Shitsuka, R. Metodologia da pesquisa científica. Santa Maria: Ed. UAB/NTE/UFSM, 2018. 119p.

Salman, A. K. D., Soares, J. P. G., Canesin., R. C. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. Porto Velho: EMBRAPA, 2006. 6p. (Circular Técnica, 84).

Schaffer, B., Attinger, W., Schulim, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery- soil physical and machanical aspects. Soil and Tillage Research, Amsterdam, 93(1), 28-48.

Trein, C. R., Machado, A. P., Levien, R. Compactação do solo por rodados, podemos evitála. Revista Plantio Direto. 114, 23-34.

Valadão, F. C. de A., Weber, O. L. dos S., Júnior, D. D. V., Scapinelli, A., Deina, F. R., Bianchinin, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 39, 243-255, 2015.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Julia Seronatto Savioli – 35%

Fernanda Francisco dos Santos – 15%

Fabrcício Leite – 25%

Reny Adilmar Prestes Lopes–15%