



Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta¹

Mateus P. Bellé², Airton dos S. Alonço³, Tiago R. Francetto⁴,
Fernando P. Rossato⁵, Cristian J. Franck⁶ & Dauto P. Carpes⁷

¹ Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

² PPGEA/UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: mateuspotrichbelle@yahoo.com.br (Autor correspondente)

³ PPGEA/UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: airtonalonco@gmail.com

⁴ PPGEA/UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: tiagofrancetto@gmail.com

⁵ UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: rossato77@hotmail.com

⁶ PPGEA/UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: cristian_franck@yahoo.com.br

⁷ PPGEA/UFSM. Santa Maria, RS. E-mail: dautocarpes@gmail.com

Palavras-chave:

máquinas agrícolas
preparo conservacionista do solo
escarificação

RESUMO

A redução das janelas de semeadura e a intensificação da produção no sistema de semeadura direta impulsionaram o aumento na frequência de utilização de máquinas, provocando compactação pelo tráfego. A compactação, além de prejudicar o desenvolvimento das raízes das plantas, aumenta a demanda de potência dos implementos justificando a utilização de escarificadores para a descompactação do solo. Avaliou-se o desempenho de dois escarificadores (Haste + ponteira), sendo um comercial e um experimental, com vistas a entender a operação de escarificação quando adaptada ao sistema de semeadura direta, utilizando como parâmetros variáveis energéticas e de solo. O elemento descompactador experimental teve um desempenho superior ao comercial nas principais variáveis estudadas, tais como consumo de combustível, potência e força de tração. Quando à frente dos elementos descompactadores o disco de corte não alterou a força de tração mas reduziu o consumo de combustível e a potência. O aumento da velocidade proporcionou incremento da força de tração, potência e consumo de combustível.

Key words:

agricultural machinery
conservation tillage
chiseling

Energy demand and soil mobilization with use of chisel plow in no-tillage system

ABSTRACT

Reduction in sowing period and intensification of production in no-tillage system, promoted an increase in the frequency of the use of machines and implements, causing compaction of soil due to traffic. The compaction, in addition to affecting the development of plant roots, increases the power demand of the implements, justifying the use of chisel plows for soil decompaction. The performance of two chisel plows (Shank + tip), one commercial and one experimental, was evaluated to understand the chiseling (scarification) operation adapted to no-tillage system and compare two chisel plows, using as parameters such as energy and soil variables. The experimental decompaction element performed better in comparison to commercial, in key variables, such as fuel consumption, power and traction force. When installed ahead of decompaction elements the cutting disc did not alter the traction force and reduced the fuel consumption and power. The increase in the speed provided an increase in traction force, power and fuel consumption.

INTRODUÇÃO

A competitividade e a sustentabilidade do sistema produtivo agrícola têm motivado os produtores a buscarem formas de intensificar seus cultivos, o que ficou evidente quando da adoção do sistema de semeadura direta (SSD) em virtude da erosão e da degradação demasiada dos solos agrícolas, promovidas pelo preparo periódico do solo; mesmo assim e após muitos anos da implantação e aperfeiçoamento deste sistema, ainda existem problemas, como a concentração de nutrientes na superfície, restrições químicas e físicas em subsuperfície e quantidades de cobertura de palha abaixo do necessário.

Denardin et al. (2008) salientam que as dificuldades na implantação do SSD e pelo tráfego indiscriminado de máquinas e implementos nas lavouras, provocam sua degradação. Esses autores ressaltam que, em razão disto, ocorreu um adensamento demasiado das partículas do solo promovendo a compactação a qual restringiu o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade reduzindo a capacidade de retenção de água do solo.

A compactação do solo se caracteriza pela ação nociva ao desenvolvimento das plantas, provocada pela redução na porosidade do solo localizada abaixo da profundidade de

trabalho dos órgãos ativos das semeadoras. A maioria dos casos de compactação do solo nas áreas agrícolas é causada pelo tráfego de máquinas (Flowers & Lal, 1998). Além desses, a ausência de mobilização do solo também promove modificação dos atributos físicos. Rossetti & Centurion (2013) constataram, estudando diferentes sistemas de manejo, que o sistema de semeadura direta tem maior densidade do solo e resistência à penetração quando comparado com o sistema convencional e à condição original de mata nativa.

Os problemas que a compactação provoca não são limitados à restrição sobre o sistema radicular das plantas, visto que eles também exercem grande influência sobre o desempenho das máquinas e dos implementos. Para Drescher et al. (2011), a compactação nas áreas agrícolas interfere diretamente neste desempenho promovendo uma ampliação na demanda de tração. Rosa et al. (2011) também observaram o efeito da compactação na demanda de tração de uma escarificação. Fatos esses que evidenciam a existência de relação entre a compactação e a demanda de força das operações agrícolas (Conte et al., 2008).

Em virtude desses problemas, as operações de escarificação em áreas do SSD estão sendo recomendadas nos últimos anos visando reduzir a compactação dos solos. Para Abreu et al. (2004) outras alternativas podem ser empregadas, como a utilização de plantas com sistema radicular agressivo e profundo capaz de penetrar na camada compactada e promover descompactação; entretanto, normalmente essas culturas têm baixo potencial de mercado e com isto inviabilizam economicamente sua utilização.

O escarificador é um implemento que prepara o solo sem revolvê-lo. Possui hastes que trabalham em profundidades maiores que outros implementos, demanda 40 a 50% e 30 a 40% menos força de tração para uma mesma largura de trabalho e volume de solo mobilizado, respectivamente, em relação a um arado (Ortiz-Cañavate, 1995).

Mazurana et al. (2011) observaram, em seu estudo, que a mobilização promovida pela escarificação reduz a densidade do solo e resistência mecânica à penetração e aumenta a infiltração de água; no entanto, para justificar a operação é necessário que tais fatores estejam limitando o crescimento das raízes das plantas; também é fundamental o conhecimento das características geométricas dos subsistemas do equipamento para que a descompactação do solo seja efetuada eficientemente, as características do SSD sejam mantidas e haja uma demanda energética coerente com a operação.

Raper et al. (2008) concluíram, analisando a produtividade do algodoeiro mediante o preparo localizado com escarificador em diferentes distâncias em relação à linha de semeadura e com hastes distintas que, em comparação com as áreas sem preparo, nas partes escarificadas a produção foi 44% maior, evidenciando os benefícios do preparo conservacionista em condições com compactação e para culturas responsivas ao manejo. Da mesma forma, Borghei et al. (2008) encontraram, ao estudar o efeito do preparo com implemento de hastes em duas profundidades, estreita relação com a produtividade, aumentando-a e também melhorando as condições físicas do solo.

Outro fator que interfere no desempenho e na qualidade da atividade realizada pelo implemento, é a presença de cobertura vegetal no solo necessitando da presença de um disco de corte de palha para que não ocorra seu deslocamento em superfície e, conseqüentemente, a exposição do solo às intempéries. Girardello et al. (2011) evidenciaram, ao estudar o impacto da operação utilizando um escarificador convencional e um com disco de corte, que a operação com disco possibilita a manutenção de até 70 % na cobertura do solo em comparação com o convencional, com 40%; além disto, Santos et al. (2010) observaram, estudando a demanda de tração de diferentes tipos de discos de corte que, em relação ao estriado, o liso apresenta menor demanda.

O objetivo do trabalho foi estudar a operação de escarificação de dois implementos distintos, um comercial e outro experimental, visando aos seus desempenhos quando utilizados para descompactar o solo em sistemas de semeadura direta analisando a influência do disco de corte à frente das hastes e a variação da velocidade de trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área experimental na Fazenda Santa Helena localizada na mesorregião do Noroeste Rio-grandense, no município de Boa Vista do Inara, Rio Grande do Sul. Em relação ao nível do mar a elevação do local é de aproximadamente 410 m, o ponto central da área possui latitude de 28° 47' 09, 67" Sul e Longitude 53° 31' 01,90" Oeste. O solo encontrado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, possuindo características físico-químicas que o definem como tendo boa aptidão agrícola, por ser profundo e bem drenado. Destacam-se, dentre outros aspectos, a fertilidade natural baixa e a presença de acidez.

A caracterização física do solo foi realizada através de uma amostragem aleatória na área para determinação da densidade do solo, textura do solo e umidade gravimétrica, cujas amostras foram posteriormente analisadas em laboratório seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Para as determinações da densidade do solo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,25 m, foram efetuadas 9 amostras em cada faixa de profundidade para compor a média e, para o teor de água, a 0,20 m, amostraram-se 12 pontos para compor a média; já para a textura do solo, pela baixa variabilidade na propriedade, foram amostrados 2 pontos na área experimental.

O solo apresentou 47% de areia grossa, 14% de areia fina, 9% de silte e 30% de argila; sua textura foi classificada como franco-argilosa; a densidade do solo de 0 a 0,15 m foi de 1,59 e de 0,15 a 0,25 m foi de 1,66 g cm⁻³; a umidade gravimétrica encontrada no dia do experimento foi de 16,61%.

Determinou-se a resistência à penetração do solo com a utilização de um penetrômetro eletrônico marca Falker, modelo PLG 1020, em que as coletas se constituíram de 60 amostras realizadas na profundidade de 0 a 0,35 m com aquisição de um dado a cada 0,01 m de aprofundamento. As amostras foram agrupadas conforme a distribuição na área dividida em duas partes: parte 1 e parte 2. Os valores de resistência

à penetração estão dispostos na Tabela 1. O coeficiente de variação das amostras de resistência à penetração presente na área experimental apresentou-se coerente com os que Silva et al. (2004) encontraram para um Latossolo Vermelho distrófico, valores entre 19 a 35%.

Tabela 1. Valores médios da resistência à penetração e coeficiente de variação (CV) em cinco profundidades

Profundidades (m)	Médias e CV da resistência à penetração (kPa)			
	Parte 1	CV (%)	Parte 2	CV (%)
0 a 0,10	1550,32	32,33	1816,06	25,36
0,10 a 0,20	2065,83	16,40	2333,85	21,02
0,20 a 0,25	1923,27	23,44	1818,03	16,34
0,20 a 0,30	1885,23	22,21	1743,27	18,04
0,30 a 0,35	1736,86	22,83	1640,81	18,47

Para realização do experimento de campo foram utilizados um trator agrícola de rodas e uma estrutura porta-ferramentas. O trator empregado para tracionar a estrutura porta-ferramentas foi um Massey Ferguson 7180 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência do motor de 132,40 kW a 2.200 rpm no motor, massa de 8270 kg, pneus traseiros 30.5L32R1 e dianteiros tipo 18.4-26R1, com calibragem de 18 e 16 lb pol⁻², respectivamente. A estrutura porta-ferramentas (Figura 1), desenvolvida por Gassen (2011), possui um chassi fixo para acoplamento das ferramentas de mobilização com possibilidade de regulagem de altura em relação ao solo e sistema de levante que permite a penetração do órgão ativo na posição e ângulo ideais; a mesma é acoplada na barra de tração do trator e a sustentação da sua massa se dá por três pontos, sendo um apoio na barra de tração e duas rodas situadas na parte traseira do implemento.

Cada escarificador utilizado foi representado apenas por um conjunto de haste e ponteira, não existindo o chassi nem as demais partes do implemento original. O conjunto formado pela haste e sua ponteira foi denominado elemento descompactador (ED), sendo um comercial (EDA) e um experimental (EDB), compondo o primeiro fator estudado (Figura 2). O EDA foi retirado de um escarificador modelo Fox[®] da empresa Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas. O EDB foi desenvolvido por Gassen (2011). As características dos EDs podem ser visualizadas na Tabela 2. A profundidade de trabalho foi

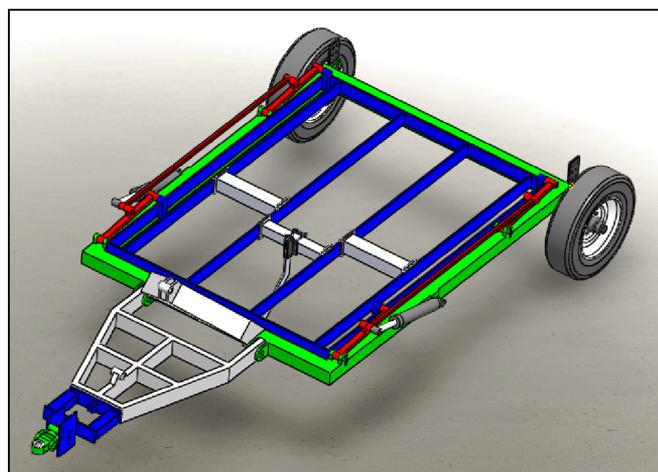


Figura 1. Estrutura porta-ferramenta



Figura 2. Ilustração dos dois elementos descompactadores, EDA (comercial), EDB (experimental) e o Disco de corte de palha

Tabela 2. Características dos elementos descompactadores e disco de corte

Características	Elementos descompactadores		Disco de corte
	EDA	EDB	
Formato	Reto inclinado	Reto inclinado	Plano/Liso
Largura da haste/ponteira (m)	0,035/0,055	0,015/0,037	-
Ângulo de ataque da haste/ponteira	60°/20°	45°/20°	-
Diâmetro (m)	-	-	0,470
Espessura (m)	-	-	0,005

padronizada em 0,25 m para ambos os descompactadores conforme ajustes pré-estabelecidos nos suportes da estrutura porta-ferramentas.

O segundo fator estudado foi a presença de disco de corte de palha (PDC) à frente dos elementos descompactadores. A utilização desta ferramenta em escarificadores é justificada quando da presença de palha dos cultivos antecessores, ou seja, em sistemas de semeadura direta. A justificativa da inclusão desta ferramenta neste estudo baseou-se no princípio do corte da palha e do solo em superfície podendo facilitar a operação quando à frente da haste escarificadora. O disco de corte trabalhou a uma profundidade padrão de 0,10 m e a distância em relação aos EDs de 0,60 m.

O terceiro fator estudado foi a velocidade de deslocamento, determinada pela escolha através do diagrama de velocidades das marchas do trator, das que correspondessem aos valores mais próximos das desejadas que, neste trabalho, foram 3,0; 6,0 e 9,0 km h⁻¹. Para verificar esta condição foram realizados testes empregando-se uma roda odométrica instalada na parte traseira do porta-ferramentas.

Visando à obtenção das variáveis força média na barra de tração, consumo horário de combustível e velocidade de deslocamento, fez-se uso de uma instrumentação eletrônica, similar à de Russini (2009). A primeira variável foi obtida utilizando-se uma célula de carga com capacidade máxima de 5 ton (t), tipo "S", da empresa Berman Load Cells; já a aferição do consumo de combustível foi realizada fazendo-se uso de um fluxômetro da marca Oval Corporation enquanto que, para a variável velocidade das rodas motrizes e velocidade real de deslocamento, foram empregados sensores indutivos; esses últimos permaneceram fixos em suportes metálicos, acoplados

ao trator, que continha, em cada aro dos pneus, uma engrenagem metálica. Todos esses dados foram obtidos e armazenamento através do emprego de um datalogger marca Campbell Scientific, modelo CR 1000. As demais variáveis, potência média na barra de tração, consumo específico operacional e resistência específica operacional, foram obtidas indiretamente através de expressões matemáticas utilizando-se, como base, o consumo de combustível, a força de tração e a velocidade.

Coletaram-se 8 dados para compor cada repetição; para cada repetição efetuou-se uma média com o objetivo de representar a condição estudada; quanto à força na barra de tração coletada nos tratamentos foi descontada a resistência ao rolamento da estrutura porta-ferramentas obtendo-se a força média na barra de tração, conforme equação abaixo exemplificada:

$$FMBT = FBT - Rrol \quad (1)$$

em que:

FMBT - força média na barra de tração, kN

FBT - média da força na barra de tração, kN

Rrol - média da resistência ao rolamento, kN

O consumo horário de combustível foi obtido através da Eq. 2.

$$Ch = Pul \times 1,8 \quad (2)$$

em que:

Ch - consumo horário de combustível, L h⁻¹

Pul - média dos pulsos gerados pelo fluxômetro

Para obter o consumo específico operacional calculou-se, primeiramente, o consumo específico, através das equações abaixo 3 e 4.

$$Ce = \frac{Ch}{Pb} \quad (3)$$

$$CeO = \frac{Ce}{Am} \quad (4)$$

em que:

Ce - consumo específico, L kW h⁻¹

CeO - consumo específico operacional, L kW h m⁻²

Am - área de solo mobilizada, m²

Ch - consumo horário de combustível, L h⁻¹

PMBT - potência na barra de tração, kW

A potência foi calculada mediante a equação abaixo:

$$PMBT = \frac{FMBT \times V}{3600} \quad (5)$$

em que:

PMBT - potência média na barra de tração, kW

FMBT - força média na barra de tração, kN

V - velocidade real de deslocamento, km h⁻¹

A velocidade das rodas motrizes do trator e a velocidade de deslocamento foram determinadas usando-se a seguinte equação:

$$V = \frac{Freq \times Per \times 3,6}{n} \quad (6)$$

em que:

V - velocidade da roda, km h⁻¹

Freq - média da frequência captada pelo sensor, Hz

Per - perímetro da roda, m

n - número de dentes da engrenagem

A resistência específica operacional foi a principal variável de estudo; sua obtenção é indireta e oriunda da relação entre a força média na barra de tração e a área de solo mobilizado. A equação abaixo exemplifica as variáveis envolvidas no cálculo da resistência específica operacional:

$$ReO = \frac{FMBT}{Am} \quad (7)$$

em que:

ReO - resistência específica operacional, kN m⁻²

FMBT - força média na barra de tração, kN

Am - área de solo mobilizado, m²

Para a aquisição das variáveis de solo, área de solo mobilizado e área de elevação do solo, usou-se um perfilômetro de hastes a fim de obter o relevo original, elevado e perfil basal do solo de cada repetição do tratamento; a primeira foi efetuada antes da passagem do porta-ferramentas, as segunda e terceira após sua passagem no mesmo local, obtendo-se a forma geométrica do sulco. Os perfis do solo foram marcados em folhas A2 de papel milimetrado com o uso de canetas traçando-se uma linha entre as extremidades dos pontos coletados em cada folha os quais forneceram o perfil natural do solo, área de elevação e mobilizada. O cálculo da área de elevação e mobilizada foi efetuado com o auxílio de ferramentas para leitura de área do programa computacional Autodesk AutoCad[®] versão 2012 enquanto o empolamento do solo foi determinado pela relação entre solo elevado e mobilizado.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em um esquema fatorial (2 x 2 x 3) com parcela subdividida e quatro repetições, mesmo número de repetições utilizado por Gassen et al. (2014). Os fatores foram presença de disco de corte (PDC), velocidade de deslocamento e elementos descompactadores (EDs). Foram utilizados dois EDs, com e sem disco de corte à frente e três velocidades teóricas, 3,0 6,0 e 9,0 km h⁻¹. Prévio à realização do trabalho, foram casualizados os tratamentos e distribuídos no dia do trabalho na área já estaqueada, sendo 48 parcelas com 15 m de comprimento e 3 m de largura cada uma; cada repetição foi composta de 8 amostras.

Testaram-se as normalidades dos dados e a homogeneidade de variâncias através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Cochran, respectivamente, ambos os testes através do emprego do programa Assistat, versão 7.6 (Silva & Azevedo, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov os dados se apresentaram normais e, ao aplicar o teste de Cochran, verificou-se homogeneidade de variâncias. As médias das velocidades reais de deslocamentos foram 2,98, 5,80 e 8,89 km h⁻¹.

Na Tabela 3 se encontram os desdobramentos da análise de variância ANOVA para todas as variáveis estudadas.

Para as variáveis Ae, Emp e ReO não houve interação entre os fatores; já nas variáveis Ch e PMBT ocorreu interação tripla. A interação entre os fatores denota haver uma dependência entre eles e os resultados são diferentes quando um fator varia dentro dos níveis do outro. O efeito de bloqueamento mostrou-se necessário apenas para as variáveis Ch e PMBT. A presença do disco de corte, segundo fator estudado (F2), não influenciou a maioria das variáveis. O terceiro fator, velocidade de deslocamento (F3), não demonstrou influência sobre as variáveis de solo; entretanto, seu incremento proporcionou elevação da FMBT, PMBT, Ch e ReO.

A média das variáveis relativas à interação da ferramenta com o solo está disposta na Tabela 4.

A Ae diferiu entre os elementos descompactadores, em que o EDA apresentou maior valor tornando o solo menos denso,

Tabela 4. Médias dos fatores resistência específica operacional (ReO), área de elevação (Ae), área mobilizada (Am) e empolamento do solo (Emp.)

Fatores	Níveis	Ae (m ²)	Am (m ²)	Emp (%)	ReO (kN m ⁻²)
ED	EDA	0,0324 a*	0,0862 a	38,64	103,30 a
	EDB	0,0214 b	0,0611 b	37,99	78,31 b
PDC	Sem disco	0,0255	0,0747	35,77	89,30
	Com disco	0,0283	0,0726	40,87	92,31
Velocidade	V1	0,0307	0,0778	40,06	73,33 b
	V2	0,0252	0,0667	40,95	100,65 a
	V3	0,0248	0,0764	33,94	98,43 a

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, na mesma razão de distribuição, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, com P < 0,05; ED - Fator elemento descompactador; PDC - Presença de disco de corte, EDA - Elemento descompactador A; EDB - Elemento descompactador B; V1 = 2,98 km h⁻¹, V2 = 5,80 km h⁻¹, V3 = 8,89 km h⁻¹

condição ideal do ponto de vista conservacionista (Carvalho Filho et al., 2008). Porém, ao observar o Emp, nota-se que em nenhum fator houve diferença significativa.

A Am teve comportamento diferenciado entre os elementos descompactadores, cujo EDA foi superior significativamente ao EDB; esta ocorrência foi devido o EDA possuir ponteira com maior largura a qual proporciona uma mobilização maior do solo; apesar disto, este aumento impactou no incremento da FMBT; já quando relacionadas essas duas variáveis, expressas pela ReO, nota-se que o EDA foi menos eficiente em utilizar a força de tração para a mesma mobilização do solo o que impactou em um valor de ReO maior em comparação ao EDB, mais eficiente.

Tabela 3. Resultados do teste F, grau de liberdade (GL), soma de quadrados (SQ) e quadrado médio (QM) para todas as variáveis estudadas

	GL	F1	F2	F3	F1 x F2	F1 x F3	F2 x F3	F1 x F2 x F3	Tratamentos	Blocos	Resíduo
		1	1	2	1	2	2	2	11	3	33
Ae	SQ	0,00145	0,00010	0,00035	0,00002	0,00006	0,00017	0,00016	0,00231	0,00020	0,00217
	QM	0,00145	0,00010	0,00018	0,00002	0,00003	0,00008	0,00008	0,00021	0,00007	0,00007
	F	22,044**	1,45ns	2,66ns	0,29ns	0,4578ns	1,2837ns	1,2343ns	3,1871 **	1,0329ns	-
Am	SQ	0,00753	0,00005	0,00118	0,00213	0,00041	0,00008	0,00028	0,01166	0,00038	0,00604
	QM	0,00753	0,00005	0,00059	0,00213	0,00021	0,00004	0,00014	0,00106	0,00013	0,00018
	F	41,10**	0,27ns	3,21ns	11,61**	1,1226ns	0,2228ns	0,7714ns	5,7859 **	0,6947ns	-
Emp.	SQ	4,92	312,39	466,08	344,25	120,03	257,85	223,70	1729,25	1182,03	8517,32
	QM	4,92	312,39	233,04	344,25	60,01	128,92	111,85	157,20	394,01	258,10
	F	0,02ns	1,21ns	0,90ns	1,33ns	0,23ns	0,49ns	0,43ns	0,60ns	1,52ns	-
Ch	SQ	8,59	1,51	30,15	1,26	0,91	1,24	1,76	45,46	0,44	1,99
	QM	8,59	1,51	15,07	1,26	0,45	0,62	0,88	4,13	0,14	0,06
	F	142,01**	24,99**	249,00**	20,95**	7,57**	10,25**	14,60**	68,25 **	2,44ns	-
CeO	SQ	1912,46	59,47	1576,36	192,91	243,93	9,47	19,29	4013,92	116,18	488,63
	QM	1912,46	59,47	788,18	192,91	121,96	4,73	9,64	364,90	38,72	14,80
	F	129,16**	4,02ns	53,23**	13,03**	8,24**	0,32ns	0,65ns	24,64 **	2,61ns	-
FMBT	SQ	211296894	223205	2861531	8837128	4737297	3013906	466040	257191003	2603372	3477995
	QM	211296894	223205	14308265	8837128	2368648	1506953	233020	23381000	867790	105393
	F	2004,83**	2,12ns	135,76**	83,85**	22,47**	14,30**	2,21ns	221,84**	8,23**	-
PMBT	SQ	651,05	5,36	1608,20	26,10	187,45	30,27	8,00	2516,47	5,43	7,83
	QM	651,05	5,36	804,10	26,10	93,72	15,13	4,00	228,77	1,81	0,23
	F	2740,68**	22,60**	3384,93**	109,91**	394,54**	63,72**	16,84**	963,02 **	7,63 **	-
ReO	SQ	7492,26	108,27	7363,84	79,88	1719,42	606,94	424,80	17795,43	877,39	15286,3
	QM	7492,26	108,27	3681,92	79,88	859,71	303,47	212,40	1617,76	292,46	463,22
	F	16,17**	0,23ns	7,95**	0,17ns	1,86ns	0,65ns	0,46ns	3,49 **	0,63ns	-

**Significativo a nível de 0,01 de probabilidade (p < 0,01); ns - Não significativo (p ≥ 0,05); F1 - Fator elemento descompactador; F2 - Fator presença de disco de corte; F3 - Fator velocidade de deslocamento; Ae - Área de elevação do solo (m²); Am - Área de solo mobilizado (m²); Emp. - Empolamento do solo (%); Ch - Consumo horário de combustível (L h⁻¹); CeO - Consumo específico operacional (L kW h m⁻²); FMBT - Força média na barra de tração (N); PMBT - Potência média na barra de tração (kW); ReO - Resistência específica operacional (kN m⁻²)

Não houve diferença entre os níveis do fator PDC, o que é muito positivo, pois a presença de um disco de corte de palha à frente dos EDs mantém grande parte da cobertura vegetal na superfície, condição esta observada no estudo desenvolvido por Girardello et al. (2011), com a qual os autores constataram que um escarificador com disco de corte propicia a manutenção de até 70% da palha na superfície, quando comparado a um sem disco que mobiliza e movimentada a maior parte da palha.

Na Tabela 5 estão dispostos os dados do consumo horário de combustível (Ch) na interação tripla.

Tabela 5. Consumo horário de combustível (L h⁻¹) na interação tripla entre os fatores elementos descompactadores (EDs), presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento

ED x PDC	Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)				
	V1	V2	V3	Médias	Médias
EDA SD	6,72 abC	8,23 aB	8,91 aA	(Sem disco)	(EDA) 7,94 a
EDB SD	6,40 bC	7,03 bB	8,86 aA	7,69 a	
EDA CD	6,95 aC	7,78 aB	9,04 aA	(Com disco)	(EDB) 7,09 b
EDB CD	6,30 bB	6,66 bB	7,29 bA	7,33 b	
Médias	6,59 c	7,43 b	8,53 a	-	-

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey com $P < 0,05$; ED - Fator elemento descompactador; PDC - Presença de disco de corte; EDA - Elemento descompactador A; EDB - Elemento descompactador B; SD - Sem disco; CD - Com disco; V1 = 2,98 km h⁻¹, V2 = 5,80 km h⁻¹, V3 = 8,89 km h⁻¹

Observa-se que o EDB atingiu o menor valor significativo haja vista que sua demanda de força foi inferior, decorrente de uma área menor de solo mobilizado em virtude de possuir menor largura de haste e da ponteira. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou incremento do Ch para todos os níveis; a mesma constatação foi feita por Gassen (2011) sendo esta condição atribuída ao aumento da resistência do solo à deformação quando elevada a velocidade imprimindo uma demanda maior de força ao trator aumentando, em contrapartida, o consumo de combustível.

A presença do disco de corte de palha à frente dos EDs provocou redução significativa na variável Ch, em virtude desta condição ter impactado em maior intensidade para o EDB, proporcionando diminuição da média geral; por outro lado, esta redução também pode ser atribuída ao rompimento do solo efetuado pelo disco quando à frente dos EDs, facilitando o deslocamento do ED através do solo, reduzindo a demanda de potência e consumo.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias da interação entre os fatores elementos descompactadores e velocidade de deslocamento e elementos descompactadores e presença de disco de corte para a variável FMBT.

Em média, a presença do disco de corte (PDC) não aumentou a FMBT, constatação feita também por Camacho & Magalhães (2004) e Germino (2004). Já Levien et al. (2004), observaram redução da FMBT com a PDC, condição esta aplicável apenas ao EDB, demonstrando que existe uma compatibilidade de cada projeto de elemento descompactador perante a presença do disco à frente podendo, tal compatibilidade, ser associada a uma pequena largura

Tabela 6. Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento para a variável força média na barra de tração (kN)

EDs	V1	V2	V3	SD	CD
EDA	7,55 aC	8,34 aB	10,12 aA	8,17 aB	9,17 aA
EDB	3,84 bC	4,54 bB	5,03 bA	4,83 bA	4,11 bB
Médias	5,70 c	6,44 b	7,58 a	-	-

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey com $p < 0,05$; ED - Fator elemento descompactador; PDC - Presença de disco de corte; EDA - Elemento descompactador A; EDB - Elemento descompactador B; V1 = 2,98 km h⁻¹, V2 = 5,80 km h⁻¹, V3 = 8,89 km h⁻¹; SD - Sem disco; CD - Com disco

da haste. Além disto, o EDB obteve menor FMBT, pois sua ponteira e haste são de estreita largura, proporcionando redução do atrito com o solo, diminuindo a mobilização de solo e, conseqüentemente, a demanda de força. O aumento da velocidade de deslocamento sempre promoveu acréscimo na FMBT, mesma observação de Gassen et al. (2014).

A interação tripla entre os fatores elementos descompactadores (EDs), presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento para a variável potência média na barra de tração (PMBT) está apresentada na Tabela 7.

O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou acréscimo da PMBT para ambos os EDs, independentemente se a condição era com disco de corte ou sem. A condição com disco de corte à frente dos EDB não aumentou a demanda de potência, situação esta não visualizada para o EDA, ao ser observado aumento da variável na presença do disco. O incremento da velocidade proporcionou elevação desta variável pois houve acréscimo da FMBT decorrente do aumento da velocidade de operação.

Na Tabela 8 estão dispostos os dados do consumo específico operacional (CeO) em duas interações, velocidade de deslocamento e EDs e deste com o fator PDC.

O CeO reduziu com o aumento da velocidade de deslocamento pois o consumo de combustível relativo ao incremento da velocidade foi pequeno e, quando contrastado com a mesma área de solo mobilizado, percebe-se que há um uso mais eficiente de combustível para a mobilização quando em comparação com as menores velocidades. O CeO teve comportamento diferenciado das demais variáveis percebendo-se, então, que o EDA, para uma mesma potência

Tabela 7. Potência média na barra de tração (kW) na interação tripla entre os fatores elementos descompactadores (EDs), presença de disco de corte (PDC) e velocidade de deslocamento

ED x PDC	V1	V2	V3	Médias	Médias
EDA SD	5,89* bC	12,57 bB	25,38 aA	(Sem disco)	(EDA)
EDA CD	6,85 aC	14,39 aB	25,01 aA	11,67 a	15,02 a
EDB SD	3,28 cC	7,62 cB	15,26 bA	(Com disco)	(EDB)
EDB CD	3,12 cC	6,81 cB	9,80 cA	11,00 b	7,65 b
Médias	4,79 c	10,35 b	18,86 a	-	-

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey com $P < 0,05$; ED - Fator elemento descompactador; PDC - Presença de disco de corte; EDA - Elemento descompactador A; EDB - Elemento descompactador B; V1 = 2,98 km h⁻¹, V2 = 5,80 km h⁻¹, V3 = 8,89 km h⁻¹; SD - Sem disco; CD - Com disco

Tabela 8. Médias e interação entre os fatores elementos descompactadores (EDs) e velocidade de deslocamento e EDs e presença de disco de corte (PDC) para a variável consumo específico operacional ($LkW h m^{-2}$)

EDs	V1	V2	V3	SD	CD
EDA	12,64 bA	7,61 bB	4,13 bB	9,01 bA	7,23 bA
EDB	30,60 aA	20,58 aB	11,06 aC	17,63 aB	23,87 aA
Médias	21,62 a	14,09 b	7,59 c	-	-

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey com $P < 0,05$; ED - Fator elemento descompactador; PDC - Presença de disco de corte; EDA - Elemento descompactador A; EDB - Elemento descompactador B; V1 = 2,98 $km h^{-1}$, V2 = 5,80 $km h^{-1}$, V3 = 8,89 $km h^{-1}$; SD - Sem disco; CD - Com disco

e mobilização de solo, consumiu menos combustível em comparação ao EDB.

A presença de disco de corte proporcionou duas situações diferentes sendo que para o EDA a condição com disco de corte obteve menor CeO significativamente e para o EDB ocorreu o contrário, em que a condição com disco obteve o maior CeO significativamente, o que é passível de estar relacionado ao menor consumo de combustível por potência demandada na condição com disco de corte na operação com o EDA e maior para o EDB.

CONCLUSÕES

1. A presença de um disco de corte à frente das hastes não alterou a força média na barra de tração porém promoveu redução do consumo horário de combustível e potência média na barra de tração do implemento, em comparação com a condição sem disco de corte.

2. O desempenho do elemento descompactador experimental foi superior ao comercial, uma vez que o primeiro obteve menor força e potência média na barra de tração, consumo horário de combustível e resistência específica operacional.

3. O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou acréscimo da força média na barra de tração e consumo horário de combustível mas não alterou a área de solo mobilizado, área de elevação nem o empolamento do solo.

LITERATURA CITADA

Abreu, S. L.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.519-531, 2004.

Borgheti, A. M. J.; Taghinejad, S.; Minaei, M.; Karimi; Varnamkhasi M. G. Effect of Subsoiling on Soil Bulk Density, Penetration Resistance, and Cotton Yield in Northwest of Iran. *International Journal of Agriculture & Biology*, v.10, p.120-123, 2008.

Camacho, J. H.; Magalhães, P. S. G. Estudio de parámetros operacionales de discos dobles y cinceles parabólicos para prácticas culturales en áreas con residuos vegetales. *Agricultura Técnica*, v.64, p.58-65, 2004.

Carvalho Filho, A.; Bonacim, J. L. G.; Cortez, J. W.; Carvalho, L. C. C. Mobilização de um latossolo vermelho acriférrico em função de sistemas de preparo do solo. *Bioscience Journal*, v.24, p.1-7, 2008.

Conte, O.; Levien, R.; Trein, C. R.; Mazurana, M.; Debiasi, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.730-739, 2008.

Denardin, J. E.; Faganello, A.; Santi, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. *Revista Plantio Direto*, v.18, p.33-34, 2008.

Drescher, M. S.; Eltz, F. L. F.; Denardin, J. E.; Faganello, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1713-1722, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212p.

Flowers, M. D.; Lal, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil Tillage Research*, v.48, p.21-35, 1998.

Gassen, J. R. F. Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea. Santa Maria: UFSM, 2011. 207p. Tese Doutorado

Gassen, J. R. F.; Alonço, A. dos S.; Baumhardt, U. B.; Bellé, M. P.; Bonotto, G. J. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.116-124, 2014.

Germino, R. Atuação de forças em hastes sulcadoras de semeadoras- adubadoras para plantio direto. Botucatu - SP. Botucatu: UNESP, 2004, 97p. Dissertação Mestrado

Girardello, V. C.; Amado, T. J. C.; Nicoloso, R. S.; Hörbe, T. A. N.; Ferreira, A. O.; Tabaldi, F. M.; Lanzanova, M. E. Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.2115-2126, 2011.

Levien, R.; Beutler, J.; Cepik, C.; Trein, C. R. Força de tração em haste sulcadora tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, São Pedro. Anais...São Pedro: SBEA, 2004, CD-Rom

Mazurana, M.; Levien, R.; Müller, J.; Conte, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1197-1206, 2011.

Ortiz-Cañavate, J. *Las maquinas agrícolas y su aplicación*. 5.ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1995. 465p.

Raper, R. L.; Bergtold, J. S.; Schwab, E. B. Effect of row proximity to in-row subsoiled zones on cotton productivity. *Applied Engineering in Agriculture*, v.24, p.573-579, 2008.

- Rosa, D. P.; Reichert, J. M.; Mentges, M. I.; Barros, C. A. P.; Reinert, D. J.; Vieira, D. A. Cultivo mínimo: Efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.1199-1205, 2011.
- Rossetti, K. V.; Centurion, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.472-479, 2013.
- Russini, A. Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas. Santa Maria UFSM, 2009. 142p. Dissertação Mestrado
- Santos, A. J. M.; Gamero, C. A.; Backes, C.; Salomão, L. C.; Bicudo, S. J. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. *Revista Energia na Agricultura*, v.25, p.17-30, 2010.
- Silva, F. de A. S.; Azevedo, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.4, p.71-78, 2002.
- Silva, V. R. da; Reichert, J. M.; Reinert, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, v.34, p.399-406, 2004.