

Produtividade da cevada com diferentes equipamentos de preparo de solo

Testing equipment for soil descompression

Thiago Martins Machado¹, Étore Francisco Reynaldo², Welington Gonzaga do Vale^{3*},
Guilherme Fernando Capristo Silva¹

RESUMO

Com a utilização da semeadura direta, muitos problemas foram suprimidos, porém outros surgiram, como a compactação do solo provocada pela inadequada regulagem e uso indevido de alguns implementos e máquinas, bem como pela pressão dos rodados de máquinas e implementos no solo durante o tráfego nas lavouras, gerando demanda de romper as comadas compactadas através do preparo do solo. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar equipamentos usados para descompactação do solo, mensurando o perfil de mobilização de solo, a porcentagem de incorporação da palhada e a sua influência na produtividade na cultura da cevada. Foram avaliados 3 subsoladores e um escarificador de diferentes marcas, contendo testemunha sem o uso dos equipamentos. O ensaio foi realizado em delineamento experimental em blocos ao acaso, sendo composto por 5 tratamentos e 4 repetições. Os subsoladores da Terrus® (GTS) e Asa Laser® (Stara) apresentaram desempenho superior nos aspectos volume de solo mobilizado, redução da resistência do solo a penetração. O subsolador Terrus® apresentou produtividade da cevada superior em relação a testemunha.

Palavras-chave: Compactação do solo; Escarificador; Subsolador

ABSTRACT

With the use of direct seeding, many problems have been suppressed, but others have emerged, such as soil compaction caused by poor regulation and misuse of some implements and machines as well as by the pressure of rotated machinery and implements in the soil for traffic on crops, generating demand to break the comadas compressed through tillage. Thus, the aim of this study was to evaluate equipment used for soil unpacking, measuring the soil mobilization profile, the percentage of incorporation of straw and its influence on productivity in the culture of barley. They were evaluated 3 subsoilers and chisel plow of different brands containing witness without the use of equipment. The test was performed in experimental design of randomized blocks, comprising five treatments and four repetitions. The subsoiler of Terrus® (GTS) and Laser Wing (Stara®) outperformed the aspects volume of soil mobilized, reduced soil resistance to penetration. The Terrus® subsoiler presented higher productivity of barley compared to control.

Keywords: Soil compaction; Subsoiler; Chisel plow

¹ Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT/Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais-ICAA.

² Syngenta.

³ Universidade Federal de Sergipe-UFS/Departamento de Engenharia Agrícola-DEAGRI

*E-mail: valewg@gmail.com

INTRODUÇÃO

A compactação dos solos ocorre pela alteração da estrutura do solo por uso de máquinas e implementos agrícolas ou pisoteio de animais. Consequentemente, provoca modificações nas suas propriedades físicas, com sérias consequências na porosidade, densidade, retenção de água e nutrientes e na dificuldade de penetração de raízes das plantas com reflexos no rendimento agrícola (Cavaliere *et al.*, 2009; Chan *et al.*, 2006; Schäffer *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2009).

O emprego de máquinas e implementos de maior massa, tem buscado um maior rendimento operacional e proporcionado a utilização de máquinas, muitas vezes com peso excessivo, rodado subdimensionado, submetendo os solos a tensões cada vez mais elevadas, agravando os problemas de compactação Machado & Lanças (2014).

Segundo Daniel *et al.* (1995), não somente o sistema de utilização das máquinas no campo, mas também as características físicas do solo, o teor de água e a presença de resíduos culturais são fatores importantes ao entendimento do processo de compactação.

Diversos autores verificaram que a resistência à penetração limite ao desenvolvimento de raízes de diversas plantas situa-se entre 1,0 e 3,5 MPa (Merotto & Mundstock, 1999). Porém, o valor de resistência à penetração de 2,0 MPa tem sido, geralmente, utilizado como um valor de resistência a penetração limitante (Tormena *et al.*, 1998).

Como solução para a compactação do solo tem-se a subsolagem que promove a ruptura de camadas compactadas ou adensadas (Botta *et al.*, 2006; Nicoloso *et al.*, 2008, Dedecek *et al.*, 2007), facilitando a penetração das raízes das culturas, além da infiltração da água para camadas mais profundas do solo.

Segundo a Asabe (2009), o subsolador é um implemento de mobilização do solo que opera a profundidade superior a 0,35 m, suficientes para romper as camadas compactadas, para o crescimento das raízes e movimentação de água no solo.

Para a operação de descompactação do solo, escarificadores e subsoladores são os implementos mais usados, devido à maior capacidade de penetração e menor desagregação do solo, em relação aos arados e grades de discos (Araújo *et al.*, 2001).

Conforme afirmações de Nunes *et al.* (2014) a escarificação em área de plantio direto, não aumentou a produtividade de grãos de milho. Já Secco *et al.* (2009) verificaram um aumento de produtividade de milho com a escarificação de áreas. A longevidade dos efeitos da escarificação e subsolagem é muito variável, desde poucos

meses (Nicoloso *et al.*, 2008; Reichert *et al.*, 2009) até alguns anos, dependendo da reconsolidação do solo sob influência do clima e do uso de máquinas agrícolas.

Sendo assim o presente trabalho teve como objetivo avaliar implementos utilizados no preparo de solo, analisando a mobilização de solo, porcentagem de incorporação da palhada e a sua influência na produtividade na cultura da cevada.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, em Entre Rios, município de Guarapuava – PR. Localizada na coordenada geográfica: latitude $-25^{\circ} 33' 24,38''$ e longitude $-51^{\circ} 28' 55,85''$, com altitude de 1124 metros em relação ao nível médio dos mares.

O ensaio foi realizado em delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo composto por 5 tratamentos (Tabela 1), distribuídos em 4 blocos, totalizando 20 parcelas, possuindo uma área de 140 m^2 sendo 7 m de largura e 20 m de comprimento.

No momento do ensaio, foi mensurado o teor de água do solo, que é a razão entre a massa d'água contida no solo, evaporável em estufa 105° C , e a massa de solo seco em estufa, à mesma temperatura, até constância de massa, conforme recomendado pela Embrapa (1997).

A profundidade de trabalho estabelecida e utilizada no ensaio foi de 0,35 m para os subsoladores e 0,28 m para o escarificador. O estabelecimento da profundidade de 0,35 m para os subsoladores se deu, devido a largura da ponteira do subsolador modelo Terrus® ser limitante, atingindo a profundidade crítica com 0,35 m. Conforme Taylor e Beltrame (1980) a profundidade de subsolagem ideal situa-se dentro da faixa de 5 a 7 vezes a largura da ponteira. Godwin & Spoor (1977) recomendaram que a distância entre as hastes do subsolador deve variar entre 1,0 e 1,5 vezes a profundidade de trabalho. Já o escarificador sua profundidade foi estabelecida em 0,28 m devido a limitações do projeto, no qual sua estrutura encosta no solo se passar dessa profundidade (Tabela 1). Segundo Machado *et al.* (2005), a profundidade e a distância entre as hastes do escarificador segue a mesma orientação do subsolador. Para os subsoladores o valor adotado de espaçamento entre hastes foi de 1,2 e para o escarificador 1,14 vezes a profundidade de operação.

Tabela 1. Tratamentos, especificações e limites dos equipamentos

Nº Trat.	Descrição	Fab.	Classe do equipamento	Esp. entre haste (m)	Nº hastes	Modelo de haste	Largura das ponteiros (m)	Prof. limite (m)
1	Jumbo®	Jan	Subsolador	0,42	7	Inclinada	0,08	0,56
2	Fox®	Stara	Escarificador	0,32	7	Inclinada	0,06	0,42
3	Asa Laser®	Stara	Subsolador	0,42	7	Inclinada	0,06	0,42
4	Terrus®	GTS do Brasil	Subsolador	0,42	6	Reta	0,05	0,35
5	Testemunha	-	-	-	-	-	-	-

O trator utilizado no experimento, foi o modelo Puma 205 marca Case® de 155,8 kW (212 cv) de potência máxima, peso total com lastro de 13.000 kg com relação peso potência-1 61,3 kg cv⁻¹, sendo 45% da massa no eixo dianteiro e 55% no eixo traseiro, pneus dianteiros 600/75R28 e traseiros 710/70R38. Para avaliar a capacidade de descompactação dos equipamentos, foi realizado o levantamento da resistência do solo à penetração (RP), utilizando-se o penetrômetro eletroeletrônico modelo SoloStar da marca Falker®. Antes da execução do ensaio foram realizadas 12 avaliações em cada parcela, até a profundidade de 60 cm. Após a realização dos ensaios foi avaliada novamente a resistência à penetração dos solos para a determinação do nível de RP após a subsolagem, utilizando-se a mesma metodologia.

Para a determinação do perfil de solo mobilizado por cada equipamento, foi utilizado perfilômetro de hastes, construído conforme descrito por Lanças (1987). O equipamento consta de hastes graduadas, espaçadas de 0,05 m entre elas com 6 m de comprimento. Primeiramente foi realizada a avaliação do perfil da superfície natural do solo. Após, a passagem dos equipamentos, realizou-se nova medição, do perfil da superfície final do solo após a subsolagem e por último, utilizando-se uma retroescavadeira, marca: Massey Ferguson®, modelo: MF 92 abriu trincheiras e foi mensurado o perfil interno do solo mobilizado após a retirada manual de todo o solo mobilizado pelo trabalho das hastes sulcadoras Todas as medições foram realizadas com o perfilômetro alocado no mesmo local.

Para avaliar o perfil de solo mobilizado, foi calculado através do programa Excel, obtendo a área de elevação do solo (Aelev), pela diferença dos perfis da superfície natural do solo e do perfil da superfície final do solo após a subsolagem, e a área de solo mobilizado (Amob), pela diferença dos perfis da superfície natural do solo e do perfil

interno do solo mobilizado. Pela soma dessas duas áreas, foi obtida a área total de solo mobilizada pela passagem dos implementos (A_{total}). Como os implementos tinham diferentes larguras de trabalho, foram calculados os volumes de elevação do solo (V_{elev}), volume de solo mobilizado (V_{mob}) e o volume total mobilizado após a passagem dos implementos (V_{total}), em um metro quadrado.

Para verificar qual a relação entre o V_{elev} e o V_{mob} foi calculada a porcentagem de empolamento (Eq. 1) de acordo com metodologia apresentada por Lanças (1987).

$$E = \frac{V_{elev}}{V_{mob}} 100 \quad (1)$$

em que:

E é o empolamento do solo (%);

V_{elev} = Volume de elevação do solo ($m^3.m^{-2}$);

V_{mob} = Volume de solo mobilizado ($m^3.m^{-2}$).

Com os dados do perfil da superfície natural do solo, e do perfil interno do solo mobilizado após a subsolagem, foi calculada a profundidade alcançada com cada equipamento.

Para obter os dados da quantidade de incorporação de palha após a operação de descompactação do solo, foi realizada a coleta da palha depositada sobre o solo antes e após a passagem dos implementos, em $1 m^2$ em cada parcela. De cada amostra de palhada coletada foi retirada uma sub-amostra, para determinação de umidade em estufa a $70^\circ C$, e consequente determinação de matéria seca de palha em cada tratamento. A quantidade de palha incorporada foi obtida pela diferença entre a palha depositada antes e após a operação.

Após 30 dias da execução do ensaio, foi realizada a semeadura da cultura da Cevada, variedade BRS Elis, com densidade de $140 kg ha^{-1}$ e espaçamento entre linhas de 0,22 m. A avaliação da produtividade nos tratamentos se deu colhendo-se ao longo de cada parcela, área útil de $9,0 m^2$ (1,8 m de largura x 5 m de comprimento).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SAS 9.3. Primeiramente foi aplicado teste de homogeneidade de variância. Após, os resultados obtidos foram submetidos à estatística pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água presente no solo no momento de realização das operações de descompactação do solo, pelos diferentes equipamentos foi de 22%.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da resistência à penetração do solo pré e após a operação de descompactação, para os quatro implementos avaliados.

Tabela 2. Resistência à penetração do solo mensurada na área de estudo antes e após operação de descompactação, para os implementos avaliados

Equipamento	Resistência a Penetração (MPa)					
	Profundidade (cm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 30*	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Fox®	0,13 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,23 A	1,48 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,62 ^{ns}
Jumbo®	0,15 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,96 AB	1,22 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,39 ^{ns}
Terrus®	0,14 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,60 B	0,90 ^{ns}	1,25 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Asa Laser®	0,12 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,64 B	0,93 ^{ns}	1,25 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Pré-subsolagem	0,63	1,97	2,09	1,96	1,98	2,12

*médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$)

Após a operação de descompactação, a resistência do solo à penetração diminuiu para todos os implementos avaliados, e em todas as profundidades. No entanto, a única profundidade em que a RP diferiu estatisticamente ao nível de 5 % de significância foi na camada de 20 a 30 cm. Esse resultado provavelmente está relacionado com a profundidade de trabalho alcançada por cada implemento, sendo que os implementos Terrus® e Asa Laser® alcançaram esta camada, o Jumbo® alcançou parcialmente, e o Fox® não alcançou, não apresentando conseqüentemente capacidade de descompactação satisfatória para a camada pré-estabelecida.

Na Tabela 3 são apresentados os volumes de solos mobilizados após a passagem dos implementos e a porcentagem de empolamento.

Para o volume de solo mobilizado o subsolador Terrus® apresentou os melhores resultados, seguido pelo subsolador Asa Laser®, ambos não diferindo entre si estatisticamente ao nível de 1 % de significância. Os outros dois implementos, Fox® e Jumbo®, tiveram desempenho muito semelhante entre si, não diferindo estatisticamente ao nível de 1 % de significância, mas diferindo dos outros dois anteriores.

Tabela 3. Volume de solo mobilizado, volume de solo elevado, volume total de solo mobilizado, e porcentagem de empolamento para os implementos avaliados

N° Trat.	Descrição	Volume mobilizado (m ³ .m ⁻²)			Empolamento (%)
		V _{mob} *	V _{elev}	V _{total} *	
4	Terrus®	0,2659 A	0,0087 ^{n.s}	0,2746A	3,4 ^{n.s}
3	Asa Laser®	0,2130 A	0,0110 ^{n.s}	0,2239A	5,1 ^{n.s}
2	Fox®	0,1211 B	0,0063 ^{n.s}	0,1274B	5,1 ^{n.s}
1	Jumbo®	0,1169 B	0,0064 ^{n.s}	0,1233B	5,8 ^{n.s}

*médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p ≥ 0,05)

Esse resultado se repetiu no volume total de solo mobilizado, permanecendo o Terrus® e o Asa Laser® em uma classe estatística distinta do Fox® e do Jumbo®. De maneira geral, quanto menor o empolamento, mais eficiente o implemento, ou seja, mais solo ele mobiliza abaixo do perfil natural do solo, e menos solo ele eleva acima desse perfil, o que pode causar uma rugosidade superficial, incorporação de palhada e desagregação do solo excessivos, prejudicando a semeadura e a posterior emergência da cultura semeado após a operação de descompactação. O subsolador Terrus® demonstrou menor empolamento do solo.

Os equipamentos Terrus® e Asa Laser® foram os que apresentaram os melhores desempenhos, ou seja, os que mais se aproximaram da profundidade de trabalho para qual foram regulados (0,35 m). O escarificador Fox® ficou com a profundidade média bem longe do estabelecido de (0,28 m). Uma das explicações para essa diferença entre a regulagem da profundidade estabelecida e a profundidade mensurada em campo, pode ter sido devido aos espaçamentos entre hastes estarem muito próximos e a área ter camadas compactadas acima de 2 MPa impedindo a penetração dos implementos.

Tabela 4. Profundidade de trabalho alcançada para os implementos avaliados

Equipamento	Profundidade (m)
Terrus®	0,33
Asa Laser®	0,31
Jumbo®	0,21
Fox®	0,17

Na tabela 5 são apresentadas as quantidades de palhada sobre o solo antes da operação de descompactação, após, e a porcentagem de palha incorporada devido a operação.

Tabela 5. Quantidade de palhada antes da operação de descompactação, após a operação de descompactação, e a porcentagem de palha incorporada na operação para os implementos avaliados

Nº Trat.	Descrição	Quantidade de Palha (ton ha ⁻¹)		Incorporada (%)
		Pré-descomp.	Pós-descomp.	
4	Terrus®	17,31	n.s. 13,54 A	21,78
3	Asa Laser®	17,32	n.s. 13,40 A	22,63
1	Jumbo®	17,31	n.s. 9,38 AB	45,81
2	Fox®	17,32	n.s. 7,49 B	56,76

*médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p≥ 0,05)

A quantidade de palha que permaneceu sobre o solo diferiu estatisticamente ao nível abaixo de 1 % de significância dos implementos Terrus® e Asa Laser® quando comparados ao Fox®. Esse fator se mostra desvantajoso quando se trata de sistema de plantio direto, sendo que uma das premissas básicas para se manter o SPD com qualidade é a máxima manutenção da palhada possível sobre o solo, sem inversão de camadas. Essa maior incorporação de palhada se deve ao fato de a operação ter provocado maior inversão de camadas do solo, sendo que quanto maior a proximidade entre as hastes, maior o revolvimento provocado.

As produtividades alcançadas pela cultura da Cevada após a operação de descompactação para cada implemento utilizado (Tabela 6) demonstram que o subsolador Terrus® foi o único implemento em que a produtividade diferiu estatisticamente da testemunha. No entanto, ele não diferiu das produtividades dos demais implementos.

Tabela 6. Produtividade da cultura da cevada implantada após a operação de descompactação

Equipamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Terrus®	8040,6 A
Asa Laser®	7960,1 AB
Jumbo®	7817,9 AB
Fox®	7781,3 AB
Testemunha	7526,3 B

CONCLUSÕES

Os implementos Terrus® e Asa Laser® apresentaram desempenho superior comparados ao Fox® e Jumbo®, nos aspectos de volume de solo mobilizado, diminuição da resistência do solo à penetração, e à profundidade de trabalho alcançada.

O subsolador Terrus® foi o que apresentou a maior produtividade de cevada após a operação de descompactação.

REFERÊNCIAS

Asabe - American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2009) EP291.3: **Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships**. St. Joseph, MI. 4p.

Araújo, A.G.; Casão Júnior, R & Siqueira, R. (2001). **Mecanização do plantio direto: Problemas e soluções**. Paraná.1-18. (Instituto Agrônomo do Paraná. Informativo de Pesquisa, 137).

Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Ressia, M. Ferrero, C.; Rosatto, H. & Tourn, M. (2006). Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil & Tillage Research**, 91, 164-172.

Cavaliere, K. M. V.; Silva, A. P. Da.; Arvidsson, J & Tormena, C. A. (2009). Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um cambissoloháplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 477-485.

Chan, K. Y.; Oates, A.; Swan, A. D.; Hayes, R. C.; Dear, B. S & Peoples, M. B. (2006). Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil and Tillage Research**, 89, 13-21.

Costa, A.; Albuquerque, J. A.; Mafra, A. L & Silva, F. R. (2009). Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 235-244.

Daniel, L.A.; Lucarelli, J.R & Carvalho, J.F. (1995). Efeito do método de preparo do solo na formação e localização de camadas compactadas. **In: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa. Anais. 24, 370-374.**

Dedecek, R. A.; Curcio, G. R.; Rachwal, M. F. G. & Simon, A. A. (2007). Effects of soil tillage systems on soil erosion and on black wattle. **Ciência Florestal**, 17, 205-215.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). Centro Nacional de Ciência do solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212 p.

Godwin, R. J & Spoor, G. (1977). Soil failure with narrow tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 22, 213-228.

Lanças, K. P. (1987). **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidade de deslocamento**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, Brasil, 112 p.

Machado, A. L.T.; Reis, A. V.; Moraes, M. L. B & Alonço, A. dos S. (2005). **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2 ed. Pelotas, RS: Ed. Univ. UFPEL, 253p.

Machado, T. M & Lanças, K. P. (2014). Calibração das hastes instrumentadas do protótipo medidor de resistência ao rompimento do solo. **Energia na Agricultura**, 29, 14-21. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/982>>. Acesso em: 4 julho. 2014.

Merotto JR, A & Mundstock, C.M. (1999). Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2, 197-202.

Nicoloso, R. D. A S.; Balbuena, R.; Ressia, M. Ferrero, C.; Rosatto, H. & Tourn, M. (2008). Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (32), 4, 1723-1734.

Nunes, M.R.; Denardin, J.E.; Faganelo, A.; Pauletto, E.A. & Pinto, L.F.S. (2014). Efeito de semeadora equipada com haste sulcadora para ação profunda em solo com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (38), 627-638.

Reichert, J. M.; Moraes, M. L. B & Alonço, A. dos S. (2009). Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, (44), 3, 310-319.

Secco, D. (2009). Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, (39), 1, 58-64.

Schäffer, B.; Attinger, W & Schulin, R. (2007). Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery - Soil physical and mechanical aspects. **Soil and Tillage Research**, 93, 28-43.

Taylor, J.C & Beltrame, L.F.S. (1980). **Por que, quando e como utilizar a subsolagem? Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre 33, 34-44.

Tormena, C. A.; Silva, A. P. & Libardi, P. L. (1998). Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (22) 573-581.

Recebido em: 21/09/2022

Aprovado em: 25/10/2022

Publicado em: 03/11/2022