



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1121-1125>

Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis

Thiago M. Machado¹, Kléber P. Lanças², Diego A. Fiorese¹, Barbara B. Fernandes² & João V. P. Testa²

¹ Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais/Universidade Federal de Mato Grosso. Sinop, MT. E-mail: tmachado@ufmt.br (Autor correspondente); dafiorese@yahoo.com.br

² Engenharia Rural/Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, SP. E-mail: kplancas@fca.unesp.br; babarretof@hotmail.com; joaovitorpt@hotmail.com

Palavras-chave:

subsolador
consumo de combustível
agricultura de precisão

RESUMO

A descompactação do solo pode ser realizada de diversas formas dentre as quais a mais comum no meio agrícola é a realização da operação de subsolagem. Com a evolução dos equipamentos e a eletrônica embarcada tem-se a possibilidade de variar a profundidade do subsolador e realizar a descompactação de modo otimizado. O presente trabalho objetivou estimar o gasto energético de um subsolador operando em diferentes tamanhos de áreas e em profundidades variáveis de subsolagem. Foram utilizados um trator 4 x 2 (TDA) e um subsolador de cinco hastes sendo este todo instrumentado com equipamentos que possibilitaram as análises de consumo horário de combustível, consumo operacional de combustível, patinagem, velocidade média, capacidade de campo efetiva, força média na barra de tração e potência média na barra de tração. A partir dos resultados obtidos no campo foram simulados, em uma planilha eletrônica, diferentes tamanhos de áreas, sendo o subsolador operando em profundidade fixa (PF) e variável (PV). Constatou-se que a economia de tempo de trabalho com (PV) em relação à (PF) variou de 1,85 a 6,34%. Houve redução no consumo de combustível de 6,42 a 25,69%, utilizando-se (PV) em relação à (PF).

Key words:

subsoiler
fuel consumption
precision agriculture

Energy expenditure estimate of subsoiling operation at varying depths

ABSTRACT

Soil decompression can be performed in several ways, the most common in the agricultural activities is the subsoiling. With the evolution of the embedded devices and electronics it is possible to vary the depth of the subsoiler and to perform decompression in an optimized way. The present study aimed to estimate the energy expenditure of a subsoiler operating in areas of different sizes and varying depths of subsoiling. A tractor 4x2 (FWA) and a subsoiler with five rods instrumented with equipment was used which enabled the analysis of hourly fuel consumption, operational fuel consumption, skating, average speed, effective field capacity, medium strength in traction and average power bar at the drawbar. From the results obtained in the field, were simulated in different electronic spreadsheets areas of different sizes with the subsoiler operating at fixed (PF) a variable depth (PV). It was found that the working time savings in PV in relation to PF ranged from 1.85 to 6.34%. A reduction in fuel consumption of 6.42 to 25.69% using PV in relation to PF was observed.



INTRODUÇÃO

Quando o solo apresenta nível de compactação elevado para a cultura, ocorre redução da produtividade devido a vários fatores, tais como impedimento físico para penetração do sistema radicular; problemas de germinação de sementes, baixa infiltração de água, baixa aeração e déficit hídrico, entre outros (Beutler et al., 2006; Drescher et al., 2011; Tavares Filho & Tessier, 2009; Suzuki et al., 2007).

Comumente, a compactação se manifesta de forma regionalizada com maior ocorrência em zonas de trânsito de máquinas e equipamentos, Amado et al. (2007). Em geral, essas zonas se localizam nas extremidades da lavoura diminuindo em direção ao centro da área, ainda nos locais com maior umidade ou com histórico de pressões recorrentes (Silva et al., 2004). Para o diagnóstico da compactação o método indireto adotado é o índice de cone (IC), que mede a resistência que o solo exerce em relação à penetração de uma ponta cônica. Para exercer esta penetração são utilizados equipamentos denominados penetrômetros, conforme Molin et al. (2012).

Como solução para a compactação do solo tem-se a subsolagem que promove a ruptura de camadas compactadas ou adensadas (Abu-Hamdeh, 2003; 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.

Conhecendo os locais críticos de compactação do solo em uma área através de ferramentas de agricultura de precisão, possibilita a diminuição dos custos de operação Reichert et al. (2007). Gorucu et al. (2001) obtiveram 42,8% de economia de energia entre a subsolagem de profundidade variável comparada à fixa.

Com esses pressupostos, o presente trabalho objetivou analisar e simular o gasto energético de um subsolador operando em diferentes tamanhos de áreas e profundidades variáveis, com o intuito de verificar a viabilidade do uso de equipamentos automatizados que trabalhem com sistema de profundidade variável de subsolagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em maio de 2011, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, SP. A área é localizada, geograficamente, a: 22° 50' Latitude Sul, 48° 25' Longitude Oeste e altitude de 791 m. O solo da área experimental foi classificado, conforme a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2013), como Nitossolo Vermelho Distroférico. Durante a condução do experimento foram utilizados um trator marca John Deere, modelo 6600, tração dianteira auxiliar (4 x 2 TDA), 6 cilindros, potência máxima de 89 kW, com 3924 N de lastros metálicos no eixo dianteiro e no eixo traseiro 3825 N, montado em pneus 18.4-26 com 26 psi e 23.1-30 com 24 psi todos com 75% de lastro líquido com uma distribuição de carga de 40% eixo dianteiro e 60% eixo traseiro com peso total de 64696 N, com uma relação peso potência⁻¹ de 55 kg cv⁻¹, vazão no sistema hidráulico de 66 L min⁻¹ a 2400 rpm. Subsolador

de arrasto da marca Jan, modelo “Jumbo Matic”, JMHD-5, de arrasto, levante no sistema hidráulico equipado com cinco hastes protegidas com sistema de segurança por mola plana, espaçadas a 400 mm, ponteiros de 60 mm de largura, 430 mm de comprimento e ângulo de 24° com a horizontal conjugado com discos de corte flutuantes de 457 mm (18”) inseridos à frente de cada haste, cilindro destorroador/nivelador na parte posterior, com largura de 2.800 mm e massa 13734 N.

Na determinação do índice de cone (IC), foi utilizado o penetrômetro da marca “Falker®” modelo PLG 1020 penetroLOG, com profundidade máxima de 0,60 m controlada por um sensor tipo sonar que realiza o cálculo de velocidade de penetração avisando, ao usuário, quando a velocidade está fora do padrão, tendo a opção de ser abortada a medição. O cone na ponta da haste tinha o padrão descrito pela ASABE (2009), com ângulo de 30° ponta padrão B com diâmetro 12,83 mm. Foi mensurado o IC nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m, nas quais se realizou a subsolagem 0,05 m abaixo da camada compactada, conforme Lanças (2002).

Utilizou-se o método do anel volumétrico para se determinar a densidade do solo conforme descrito pela (EMBRAPA, 1997). Para medição do consumo de combustível foram utilizados dois fluxômetros volumétricos M-III, da FLOWMATE fabricados pela OVAL Corporation do Japão modelo LSN41L8-M2, vazão de 1 mL pulso⁻¹, instalado um na saída do tanque de combustível e antes do sedimentador e o outro fluxômetro no retorno para o tanque de combustível. A determinação de força na barra de tração foi obtida através de uma célula de carga da marca Líder com capacidade de 100000 N. A determinação da patinagem das quatro rodas do trator foi obtida utilizando-se geradores de pulsos, modelo GDP-60-U-12V, com frequência de 60 pulsos por volta. Para a aquisição de dados foi utilizado um controlador lógico programável (CLP) marca Maschetto, com interface homem - máquina incorporado (IHM) para aquisição dos dados de força de tração instantânea e integrada, de rotação das quatro rodas do trator consumo e temperatura do combustível, permitindo a leitura e o armazenamento dos sinais enviados pelos sensores instalados nos rodados e no sistema de alimentação do trator, conforme citado por Gabriel Filho et al. (2008).

O trabalho foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos. Desta forma, o universo amostrado foi composto de 20 parcelas experimentais; o experimento foi constituído de cinco tratamentos, T1, T2, T3, T4 e T5, sendo utilizadas uma velocidade de deslocamento (5 km h⁻¹) do trator e três profundidades de trabalho do subsolador, ou seja, T1 a 0,15 m, T2 a 0,25 m, T3 a 0,35 m, T4 a 0,35 m e T5 0,00 m.

Nos tratamentos T1 a T3 e T5 a área já estava compactada pelo tráfego de máquinas na pista, sendo feitas apenas as regulagens no subsolador para cada tratamento; para o tratamento T4 a parcela foi previamente subsolada a 0,40 m e em seguida passada uma vez no rolo compactador da marca Prata, modelo 1000, interligado a 3 partes de 9810N cada uma para simular uma área com índice de cone abaixo de 2 MPa, como se um trator estivesse operando em local na qual não teria necessidade de subsolagem.

Os valores estipulados de IC foram baseados em estudos em que Taylor et al. (1966) consideram, como valor limitante ao crescimento radicular das plantas de 2 MPa; no tratamento T5 o trajeto da parcela foi realizado com o subsolador em posição de transporte para simular um valor aproximado de um trator trafegando com equipamento, como se estivesse com um sistema automatizado em que mapas com valores de IC mostram os locais em que a operação de subsolagem não deveria ocorrer. Cada parcela do experimento possuía 5 m de largura por 20 m de comprimento sendo que foi deixado, entre os blocos, um carregador com 20 m de comprimento a fim de permitir as manobras e a estabilização dos equipamentos, antes do início da aquisição dos dados. As amostras de solo foram coletadas aleatoriamente em cada parcela, nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, antes da realização do ensaio; depois, foram levadas à estufa elétrica com temperatura 110 °C por 24 h visando à determinação do teor de água no solo.

Após o ensaio de campo, no qual se avaliou o gasto energético variando as profundidades de subsolagem, foram simuladas 3 diferentes configurações de áreas com valores de (IC) maiores e menores que 2 MPa utilizando-se a planilha eletrônica Excel mantendo-se sempre, porém, um tamanho de área total de 100 ha com a finalidade de representar uma área na qual estivesse sendo realizada uma operação de subsolagem em profundidade variada, comparada com a fixa.

Na simulação das áreas (1, 2 e 3) (Tabela 1) nas áreas com IC maior que 2 MPa utilizou-se profundidade do subsolador de 0,35 m (tratamento T3, PV e PF) e para as áreas com compactação menor que 2 MPa, o subsolador ficou em posição de transporte (tratamento T5), para simular um sistema eletrônico interpretando que o solo não estivesse compactado

Tabela 1. Simulação de áreas de diferentes tamanhos em relação ao índice de cone

Índice de cone	Área (ha)
Simulação 1	
< 2 MPa	(1) 25
> 2 MPa	(2) 75
Área total (ha)	100
Simulação 2	
< 2 MPa	(1) 50
> 2 MPa	(2) 50
Área total (ha)	100
Simulação 3	
< 2 MPa	(1) 75
> 2 MPa	(2) 25
Área total (ha)	100

Tabela 4. Avaliação da patinagem (P) em %, velocidade média (VM) em km h⁻¹, capacidade de campo efetiva (CCE) em ha h⁻¹, força média na barra de tração (FMBT) em N, potência média na barra de tração (PMBT) em kW, consumo horário de combustível (CHC) em L h⁻¹, consumo operacional de combustível (COC) em L ha⁻¹ em função dos tratamentos avaliados no experimento

Tratamento	P (%)	VM (km h ⁻¹)	CCE (ha h ⁻¹)	FMBT (N)	PMBT (kW)	CHC (L h ⁻¹)	COC (L ha ⁻¹)
T1	3,15 c	4,78 a	0,96 a	9226 d	12,25 d	13,02 d	13,59 c
T2	8,90 b	4,42 b	0,88 b	23645 b	29,03 b	17,11 b	19,32 b
T3	23,32 a	3,45 c	0,69 c	42190 a	40,42 a	22,19 a	32,17 a
T4	6,37 b	4,51 b	0,90 b	21778 c	27,29 c	16,15 c	17,87 b
T5	2,36 c	4,94 a	0,99 a	1724 e	2,36 e	10,42 e	10,53 d

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 0,05 de probabilidade, pelo teste de Tukey; T1, T2, T3, T4 e T5, representam uma velocidade de deslocamento (5 km h⁻¹) do trator e três profundidades de trabalho do subsolador, T1 a 0,15 m, T2 a 0,25 m, T3 a 0,35 m, T4 a 0,35 m e T5 0,00 m.

(PV). Para simulação do subsolador em PF fixou-se 0,35 m nas três simulações.

A capacidade de campo efetiva e o consumo operacional de combustível foram usados nos valores do tratamento T3 para valores maiores 2 MPa (PF e PV) e valores do tratamento T4 para IC menor que 2 MPa (PF). Para a área de compactação com IC menor que 2 MPa foram usados os valores de capacidade de campo efetiva e o consumo operacional do tratamento T5 (PV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de teor de água no solo (Tabela 2) foram amostrados no ensaio nos intervalos de 0,10 m até a profundidade de 0,30 m.

Nos resultados da mensuração do índice de cone o tratamento que apresentou o menor índice de cone foi o T4; o restante dos tratamentos manteve valores semelhantes (Tabela 3).

Os resultados do ensaio das variáveis relacionadas à operação de subsolagem (tratamentos T1 a T5, Tabela 4), mostram que a velocidade média de deslocamento e a capacidade de campo efetiva da operação de mobilização do solo tiveram o mesmo comportamento, enfatizando, ainda, que essas variáveis eram função direta da patinagem.

Os dados obtidos (Tabela 4) mostraram que o aumento da profundidade influenciou significativamente o aumento da patinagem, a força média na barra de tração, a potência média na barra de tração, o consumo operacional de combustível, a diminuição da velocidade média e a capacidade de campo efetiva.

Tabela 2. Teor de água no solo e profundidade de amostragem nos blocos

Profundidade (m)	Bloco				Média (kg kg ⁻¹)
	1	2	3	4	
0-0,10	19,10	19,10	19,20	19,30	19,17
0,10-0,20	19,50	19,50	19,50	19,40	19,47
0,20-0,30	20,20	20,10	20,20	20,40	20,22
Média	19,60	19,56	19,63	19,70	19,70

Tabela 3. Valores de índice de cone em relação à profundidade de amostragem e tratamentos

Profundidade (m)	Tratamentos					Média (MPa)
	T1	T2	T3	T4	T5	
0-0,10	2,20	2,70	2,30	0,90	2,70	2,16
0,10-0,20	3,00	3,20	2,60	1,60	3,20	2,72
0,20-0,30	3,60	3,20	3,50	1,40	3,20	2,98
Média (MPa)	2,93	3,03	2,80	1,30	3,03	

Com o aumento da profundidade de operação de 0,15 m para 0,25 m e por último 0,35 m, observou-se redução da capacidade campo efetiva em 8,30% (0,15-0,25 m) e 21,50% (0,25-0,35 m) respectivamente (Tabela 4) aumentando, em contrapartida, a demanda de força na barra de tração, em 156% com o aumento da profundidade de operação de 0,15 m para 0,25 m e 78,40% de 0,25 m para 0,35 m. Alterando a profundidade de (0,15-0,25 m) e (0,25-0,35), houve aumento da patinagem em 182,50 e 162,02% respectivamente; verificou-se, também, que as profundidades de operação influenciaram o consumo operacional de combustível com o aumento da profundidade de operação de 0,15 m para 0,25 m, o que elevou o consumo em 42,16% e de 0,25 m para 0,35 m de profundidade; este o aumento foi de 66,50%.

Kichler et al. (2007) observaram, estudando o desempenho energético de subsoladores, a ocorrência de aumento no consumo de combustível, de 20% e incremento na força de 120% quando a profundidade foi aumentada de 0,23 m para 0,35 m, corroborando com os dados obtidos no ensaio.

Constatou-se, realizando as simulações demonstradas nas Tabelas 5 a 7, com base nos resultados de CCE e COC da Tabela 4, que a economia de tempo de trabalho (h) com profundidade variável (PV) em relação à profundidade fixa (PF) variou de 1,85% para uma área de 25 ha (PV) (Tabela 5) e 6,34% para uma área 75 ha (PV) (Tabela 7). Para consumo operacional de combustível (COC) a redução variou de 6,42 a 25,69% utilizando-se (PV) em relação à (PF), resultados que se assemelham aos encontrados por Gorucu et al. (2001) que obtiveram 28,4% de economia de combustível ensaiando o sistema de subsolagem de profundidade variável comparado com o sistema de profundidade fixa. Fulton et al. (1996) concluíram, medindo densidade do solo e índice de cone do

Tabela 5. Simulação da subsolagem da profundidade variável área (25 ha) e fixa (75 ha)

Trat.	Área 1	Área 2	Área total	
	(ha)			
	25	75	100	
Trat.	CCE	CCE	Total	Diferença
	(ha h ⁻¹)		(h)	(%)
PV	0,99	0,69	133,95	
PF	0,90	0,69	136,47	-1,85
Trat.	COC	COC	Total	Diferença
	(L ha ⁻¹)		(L)	(%)
PV	10,53	32,17	2675,88	
PF	17,87	32,17	2859,50	-6,42

PV – Profundidade variável, PF – Profundidade fixa

Tabela 6. Simulação da subsolagem da profundidade variável (50 ha) e fixa (50 ha)

Trat.	Área 1	Área 2	Área total	
	(ha)			
	50	50	100	
Trat.	CCE	CCE	Total	Diferença
	(ha h ⁻¹)		(h)	(%)
PV	0,99	0,69	122,97	
PF	0,90	0,69	128,02	-3,95
Trat.	COC	COC	Total	Diferença
	(L ha ⁻¹)		(L)	(%)
PV	10,53	32,17	2134,76	
PF	17,87	32,17	2502,00	-14,68

PV – Profundidade variável, PF – Profundidade fixa

Tabela 7. Simulação da subsolagem na profundidade variável (75 ha) e fixa (25 ha)

Trat.	Área 1	Área 2	Área total	
	(ha)			
	75	25	100	
Trat.	CCE	CCE	Total	Diferença
	(ha h ⁻¹)		(h)	(%)
PV	0,99	0,69	111,99	
PF	0,90	0,69	119,57	-6,34
Trat.	COC	COC	Total	Diferença
	(L ha ⁻¹)		(L)	(%)
PV	10,53	32,17	1593,64	
PF	17,87	32,17	2144,50	-25,69

PV – Profundidade variável, PF – Profundidade fixa

solo em grade de pontos referenciados, que o consumo de combustível pode ser reduzido a 50,00%, em local específico do cultivo em comparação com subsolagem no campo inteiro.

Observa-se que quanto maior a área trabalhada em (PV) conforme as variáveis analisadas (Tabelas 5 a 7) maiores são as reduções de consumo de combustível e tempo gasto para operação. Esses resultados são devidos ao aumento da capacidade operacional pois na comparação entre PV e PF, quando o subsolador trabalha em uma mesma profundidade em toda área (0,35 m), locais que teriam IC menor que 2 MPa que não teriam necessidade de descompactação o equipamento estaria realizando a operação demandando a energia desnecessária. Quando se trabalha com o subsolador em PV em locais em que IC é menor que 2 MPa, o equipamento estaria em modo transporte, pois não se tem necessidade de descompactar o solo; outro fator passível de também ser considerado, seria a menor mobilização do solo quando se tem trabalho em profundidade variável.

A partir dos resultados obtidos (Tabelas 5 a 7) verifica-se que o uso de equipamentos automatizados em futuros trabalhos que trabalham em profundidades variáveis para descompactação do solo, pode racionalizar o gasto energético contribuindo para a redução de desgastes do conjunto e tempo de operação demonstrando, desta forma, ser viável o uso de equipamentos que trabalhem em profundidades variáveis para descompactação do solo.

CONCLUSÕES

1. O aumento na profundidade de subsolagem contribuiu para a elevação do gasto energético e redução da capacidade de campo efetiva.
2. Na simulação de subsolagem a profundidade variável ocorreu, quando comparada à subsolagem em profundidade fixa, redução no consumo operacional de combustível e no tempo para realização das áreas, em todas as simulações.

LITERATURA CITADA

- Abu-Hamdeh, N. H. Compaction and subsoiling effects on corn growth and soil bulk density. *Soil Science Society of American Journal*, v.67, p.1213-1219, 2003. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1213>
- Amado, T. J. C.; Pontelli, C. B.; Santi, A. L.; Viana, J. H. M.; Sulzbach, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* v.42, v.1101-1110, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800006>

- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. EP542: Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. St. Joseph: ASABE, 2009. 3p.
- Beutler, A. N.; Centurion, J. F.; Centurion, M. A. P. C.; Silva, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.787-794, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000500004>
- Botta, G. F.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Ressia, M. Ferrero, C.; Rosatto, H.; Tourn, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil & Tillage Research*, v.91, p.164-172, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.12.011>
- Dedecek, R. A.; Curcio, G. R.; Rachwal, M. F. G.; Simon, A. A. Effects of soil tillage systems on soil erosion and on black wattle. *Ciência Florestal*, v.17, p.205-215, 2007.
- 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.713-1722, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500026>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Ciência do Solo. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, 2013. Rio de Janeiro: CNPS, 2013. 353p.
- Fulton, J. P.; Wells, L. G.; Shearer, S. S.; Barnhisel, R. I. Spatial variation of soil physical properties: A precursor to precision tillage. St. Joseph: ASAE, 1996. 9p. ASAE Paper 06-1002
- Gabriel Filho, A.; Lanças, K. P.; Guerra, S. P. S.; Paula, C. A.; Monteiro, L. A. UMEB – Unidade móvel para ensaio na barra de tração. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.782-789, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000400018>
- Gorucu, S.; Khalilian, A.; Han, Y. J.; Dodd, R. B.; Wolak, F. J.; Keskin, M. Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in coastal plain region of South Carolina. St. Joseph: ASAE, 2001. 11p. ASAE Paper 01-1016
- Kichler, C. M.; Fulton, P. R. J.; Raper, L.; Zech, W. C.; McDonald, T. P.; Brodbeck, C. J. Spatially monitoring tractor performance to evaluate energy requirements of variable depth tillage and implement selection. In: ASABE Annual International Meeting, Minneapolis, 2007. Proceedings... St. Joseph: ASABE, 2007. Paper Number: 071028, 2007. CD-Rom
- Lanças, K. P. Subsolação ou escarificação. *Cultivar Máquinas*, v.1, p.34-37, 2002.
- Molin, J. P.; Dias, C. T.; Carbonera, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.584-590, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500015>
- Nicoloso, R. da S.; Amado, T. J. C.; Schneider, S.; Lanzanova, M. E.; Girardello, V. C.; Bragagnolo, J. 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*, v.32, p.1723-1734, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037>
- Reichert, J. M.; Suzuki, L. E. A. S.; Reinert, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.5, p.50-106, 2007.
- Silva, V. R.; 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000200010>
- Suzuki, L. E. A. S.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Lima, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1159-1167, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2007000800013>
- Tavares Filho, J.; Tessier, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1525-1533, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600002>
- Taylor, H. M.; Roberson, G. M.; Parker, J. J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22, 1966. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196607000-00002>