

Subsolador: avaliação do desempenho em função da velocidade de trabalho e espaçamento entre hastes

Danilo Cesar Checchio Grotta, Afonso Lopes, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Klinger Brentini Branquinho, Gustavo Naves dos Reis e Rouverson Pereira da Silva

*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: dcgrotta@zipmail.com.br*

RESUMO. O presente trabalho teve por objetivo estudar o desempenho de um subsolador em função da velocidade de trabalho e de espaçamento entre hastes. O experimento foi realizado na FCAV-Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Utilizaram-se um subsolador de três hastes e um trator de 110,4 kW, combinando-se três velocidades de deslocamento (2, 4 e 6 km h⁻¹) e três espaçamentos entre hastes (50, 60 e 70 cm). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com esquema fatorial 3x3, 9 tratamentos e três repetições. Mediram-se e analisaram-se os seguintes parâmetros: velocidade real de deslocamento, área mobilizada, capacidade de campo efetiva, rendimento efetivo, área de elevação de solo e incorporação de resíduos vegetais. Ao analisar os valores obtidos, verificou-se que o fator marcha interferiu significativamente nas variáveis velocidade real de deslocamento e capacidade de campo efetiva; e o fator espaçamento entre hastes interferiu nas variáveis capacidade de campo efetiva e área mobilizada.

Palavras-chave: subsolador, compactação, área mobilizada.

ABSTRACT. Subsoiler: performance appraisal dependent of the displacement velocity and tine distances. The aim of this work was to study the subsoiler performance dependent of the displacement velocity and tine distances. The experiment was carried out in the FCAV - Unesp, in the municipal district of Jaboticabal. was utilized a subsoiler with three tines and a 110,4 kw tractor, combining three displacement velocities (2, 4 and 6 km h⁻¹) and three tine distances (50, 60 and 70 cm). The used experimental design was a randomized design, factorial array of 3x3, 9 treatments and three replications. it was measured and observed the following parameters: forward speed, mobilized area, field effective capacity, effective yield, soil elevation area and vegetal residue incorporation. The results allowed verify that gear factor showed significant difference in the forward speed and field effective capacity variables and the tine distance factor showed significant difference in the field effective capacity and mobilized area.

Key words: subsoiler, compactation, mobilized area.

Introdução

A partir da necessidade do rompimento da camada compactada do solo, diversos equipamentos foram projetados e estão sendo comercializados com essa finalidade. Porém, para serem utilizados com eficiência, é de fundamental importância que sejam analisados os parâmetros relativos à dinâmica de mobilização do solo e o desempenho das várias configurações existentes. O subsolador é um dos principais equipamentos utilizados com a finalidade de eliminar ou de minimizar os efeitos negativos induzidos pela compactação do solo, para, com isso, aumentar a profundidade útil do solo e romper a camada endurecida que, por ventura, possa aparecer

com o uso contínuo dos equipamentos tradicionais de preparo de solo.

Cintra *et al.* (1983) afirmam que solos cultivados convencionalmente apresentam, em profundidades próximas à superfície, níveis bastante elevados de densidade global, resistência à penetração e microporosidade. De acordo com os autores, a prática de cultivo convencional reduz a porosidade total, a macroporosidade e a taxa de infiltração de água, em comparação aos mesmos solos sob mata nativa.

Salvador (1992) afirma que raramente o preparo do solo é efetuado com base em um estudo objetivo e que as justificativas normalmente empregadas são:

controle de plantas daninhas, manejo de resíduos vegetais, preparo de um bom leito de semeadura, modificação da microtopografia do terreno, auxílio no controle de doenças, incorporação de fertilizantes e de corretivos, facilidade no desenvolvimento do sistema radicular de plantas, auxílio no controle de erosão, controle da elevação da temperatura do solo, rompimento de horizontes compactados e melhoria das condições físicas do solo.

Marshall e Raney (1960) definem as zonas compactadas do solo como sendo o resultado da deterioração de sua estrutura, tendo como principal conseqüência a diminuição da porosidade do solo em camadas logo abaixo da profundidade de trabalho dos órgãos ativos das máquinas. Essa compactação é chamada comumente de “pé-de-arado”, “pé-de-grade” etc.

Håkansson *et al.* (1988) afirmam que, em muitos sistemas de preparo de solo, a camada arável tem seu ciclo anual marcado pelo preparo e pela compactação, onde as operações posteriores ao preparo recompactam o solo novamente. Dessa forma, antes da instalação de uma nova cultura, outras operações de preparo são necessárias para moderar a recompactação, deteriorando a estrutura do solo, reduzindo os seus processos e afetando todas as suas propriedades e funções físicas, químicas e biológicas.

Balastreire (1990) afirma que a correta utilização de subsoladores pressupõe conhecimentos suficientes sobre as características do solo trabalhado, tais como compactação existente, teor de água, cobertura existente na superfície, textura e estrutura e, ainda, sobre as características necessárias para a operação com o equipamento, como a profundidade de trabalho, espaçamento entre hastes, dimensões e formato das hastes, potência necessária, entre outras.

O crescimento das plantas e a disponibilidade de nutrientes são afetados pela compactação, na medida em que há interferências nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, uma vez que eles são dependentes da estrutura do solo. Acréscimos na compactação do solo reduzem o crescimento e a função fisiológica das raízes, e, desse modo, elas se tornam menos eficientes na absorção de nutrientes (Alvarenga *et al.*, 1997).

Sendo as propriedades hidráulicas do solo funções que caracterizam seus processos de retenção e de transmissão de água, elas podem ser utilizadas como parâmetros para avaliação funcional do efeito das modificações impostas à estrutura do solo (Canalli e Roloff, 1997).

Para Dallmeyer (1994), a mobilização do solo é realizada principalmente para aumentar a aeração, a infiltração de água, a incorporação de insumos, os restos culturais e a redução da infestação de pragas e de plantas invasoras. Esse autor afirma que a maioria dos solos brasileiros utilizados para culturas anuais é preparado mecanicamente com o uso de arados e/ou de grades de discos, ferramentas de corte e revolvimento com elevadas compressões sobre o solo; afirma, ainda, que o uso contínuo desses tipos de equipamentos para preparo do solo favorece a ocorrência de erosão, agravada pela degradação física dos solos, resultando no surgimento de crostas superficiais e de adensamentos subsuperficiais. O autor relata que o número excessivo de operações de preparo do solo, sempre à mesma profundidade em solos com elevados teores de água, expõe o solo a essa degradação.

Segundo a Asac (1982), o subsolador é um implemento de mobilização do solo que opera a profundidades suficientes para romper as camadas subsuperficiais compactadas.

A subsolagem é uma prática de cultivo em profundidade que se tornou comum em algumas regiões do país, servindo para tornar soltas as camadas compactadas, sem, entretanto, causar inversão das camadas de solo, devendo somente ser recomendada quando houver uma camada muito endurecida, em profundidades não atingidas por outros implementos (Camargo e Alleoni, 1997).

Taylor e Beltrame (1980), assim como Spoor e Godwin (1978), mostraram que, para uma grande faixa de solos, desde que estejam com teor de água correto para efetuar a subsolagem, a profundidade de trabalho considerada ótima para os subsoladores está por volta de 5 a 7 vezes a largura da ponteira da haste sem asa.

Ao analisar a profundidade de trabalho e o espaçamento entre hastes, Beltrame (1983) pôde constatar que a melhor movimentação do solo, em termos de porcentagem da área movimentada, foi obtida com o subsolador analisado quando a relação entre o espaçamento e a profundidade das hastes com ponteiras sem asa ficou por volta de 1,32m, enquadrando-se, portanto, no intervalo de 1,0m a 1,5m, o qual também foi sugerido por Spoor e Godwin (1978).

Laças (1988) adverte que a operação de subsolagem requer alto consumo energético e - quando se realiza essa operação com profundidades menores ou não se realiza a subsolagem - os custos de preparo do solo ficam significativamente reduzidos, e adverte ainda que, por outro lado, se existe a camada compactada, a não realização da

subsolagem ou a operação efetuada em profundidades inferiores à necessária poderão provocar um prejuízo consideravelmente maior, devido à queda de produção da cultura instalada.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho operacional de um subsolador em função da velocidade de deslocamento e do espaçamento entre as hastes.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (Fepp), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV - Unesp, no município de Jaboticabal, Estado de São Paulo. O local do presente trabalho é denominado “Área Demonstrativa e Experimental de Irrigação - Adei”, situado lateralmente entre a Via de Acesso Prof. Dr. Paulo Donato Castellane e a Rodovia Carlos Tonanni. A localização geográfica está definida pelas coordenadas 21°15'22” de latitude Sul e 48°18'58” de longitude Oeste de Greenwich, sendo a altitude média de 570m, com declividade média de 7%, apresentando clima Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen.

A área experimental apresentava como cobertura de solo restos de cultura de milho (*Zea mays* L.), além de diversas espécies de plantas invasoras, sendo as principais: tiririca (*Cyperus rotundus* L.), grama-seda (*Cynodon dactylon* L. Pers.), capim-carrapicho (*Cenchrus hirsuta*), trapoeraba (*Commelina benehalensis*), anileira (*Indigofera hirsuta*) e corda-de-violão (*Ipomoea acuminata*).

O solo da área experimental é classificado por Andrioli e Centurion (1999) como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura muito argilosa, A moderado, caulinitico-oxálico, relevo suave ondulado.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: trator Massey Ferguson, modelo MF 660, 4x2 TDA, com potência de 110,4 kW (150 cv) no motor; subsolador montado, com massa de 516kg, equipado com 3 hastes curvas dispostas em forma de “V”, com ponteiros sem asa e roda de controle de profundidade; perfilômetro construído em madeira com 2,50m de largura útil, com 41 aberturas a cada 5cm por onde passa uma régua de ferro graduada de zero a oitenta centímetros; fio de cobre encapado, com 15m de comprimento e com marcações equidistantes de 0,15m, resultando em 100 pontos de leitura, conforme metodologia descrita por Laflen *et al.* (1981).

O delineamento experimental foi conduzido em blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial 3x3, com 9 tratamentos e 3 repetições, totalizando 27

observações.

Cada parcela experimental ocupava uma área de 105m² (30 x 3,5m) e, entre as parcelas, no sentido longitudinal, reservou-se um intervalo de 15m, cuja finalidade foi realizar manobras, trânsito de máquinas e de equipamentos e estabilizar as determinações em cada tratamento.

A combinação dos tratamentos foi: 3 velocidades de deslocamento (2, 4 e 6km.h⁻¹) e 3 espaçamentos entre hastes (50, 60 e 70cm), ambos com profundidade de trabalho do subsolador de 40cm.

A fim de avaliar o desempenho do subsolador, as seguintes variáveis foram medidas: - a velocidade real de deslocamento, calculada em função do tempo de percurso na parcela, obtido através de um cronômetro, quando o trator operava com o subsolador acoplado ao sistema hidráulico de três pontos (SH3P); - áreas de mobilização e de elevação do solo: para obtenção dessas áreas, foi realizado o levantamento do perfil da superfície natural do solo, do perfil de fundo e do perfil de elevação do solo. O perfil de superfície natural do solo foi obtido com o perfilômetro, antes da operação de subsolagem. O perfil de fundo e o de elevação também foram obtidos por meio do perfilômetro, porém, após a operação de subsolagem, comparando-se o perfil da superfície do solo antes da subsolagem e o perfil interno após essa operação, avaliou-se a sua área mobilizada efetiva e, comparando-se o perfil natural com o perfil de elevação do solo, obteve-se a área de elevação de solo. Para tanto, os dados dos perfis foram tabulados, plotados e calculados em programa de microcomputador (planilha de cálculos do Microsoft Excel), obtendo-se, assim, as áreas entre os mesmos.

A capacidade de campo efetiva foi determinada com base na largura de trabalho real do subsolador, obtida por medição com trena, e na velocidade real de deslocamento do conjunto, proporcionada pelas três marchas de teste. As larguras de trabalho foram de 1,00m, 1,20m e 1,40m e o número de hastes manteve-se o mesmo, com a mesma profundidade de trabalho, variando-se o espaçamento e as relações de espaçamento entre hastes/profundidade de trabalho.

A incorporação de resíduos vegetais foi determinada através de medições em diagonal em cada parcela, uma antes da passagem do conjunto e outra após; eram anotadas as coincidências das marcas do fio graduado com a presença de resíduo vegetal no solo e, comparando-se as leituras, foi determinada a quantidade de resíduo incorporado.

O rendimento teórico foi calculado a partir da relação entre a capacidade de campo efetiva e a

capacidade de campo teórica.

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade, conforme recomendação de Pimentel Gomes (1987).

Foram coletadas amostras de solo durante a fase de condução do experimento, cuja finalidade foi avaliar o teor de água, sendo essa operação repetida em todas as parcelas. Nessa avaliação, foi usada o mesmo referencial da resistência à penetração, retirando-se amostras nos perfis de solo de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm de profundidade. O método de determinação utilizado foi o gravimétrico padrão, colocando-se o solo para secagem até obter massa constante em estufa elétrica regulada à temperatura de 105°C, conforme a metodologia da Embrapa (1997).

Resultados e discussão

A apresentação geral dos resultados teve o critério de relacionar o valor médio de cada variável comparativa com cada condição de espaçamento entre hastes e velocidade de trabalho. Esses resultados encontram-se nas Tabelas 4 e 6 e cada valor representa uma média de três observações.

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de variáveis nas Tabelas 4 e 6. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores espaçamento e velocidade representam médias de 9 observações para ambos. As colunas com ausência de letras, que caracteriza diferença estatística entre médias, indica que ocorreu interação significativa entre os fatores, tendo assim outro quadro de desdobramento.

Para melhor entendimento, as variáveis foram distribuídas separadamente com auxílio de quadros provindos de análise estatística baseada no teste de médias.

Nas Tabelas 1, 2 e 3, visualizam-se as médias dos resultados da variável velocidade real de deslocamento em todos os tratamentos estudados e a Tabela 4 mostra a síntese da análise do Teste F. De acordo com os dados da Tabela 4, percebe-se que, nessa variável, um fator não interferiu no comportamento do outro (espaçamento entre hastes \times velocidade de deslocamento) ou pode-se dizer que não ocorreu interação estatística significativa entre os fatores.

Observa-se que, no fator espaçamento, não ocorreu diferença estatística significativa para a variável velocidade real de deslocamento.

Nas Tabelas 1, 2 e 3, visualizam-se as médias dos resultados da variável capacidade de campo efetiva em todos os tratamentos e, conforme os dados da Tabela 4, percebe-se que, nessa variável, ocorreu

interação estatística significativa entre os fatores espaçamento e velocidade, notando-se ainda que o fator espaçamento influenciou significativamente a variável capacidade de campo efetiva. A Tabela 5 apresenta os dados dessa interação e cada valor representa a média de nove observações.

Tabela 1. Resultados médios das variáveis velocidade (ΔV), capacidade de campo efetiva (CCE), rendimento operacional teórico (RT), área de elevação (AE), área mobilizada (AM) e incorporação de cobertura vegetal (ICV) para espaçamento 1.

Velocidades	ΔV (km h ⁻¹)	CCE (ha h ⁻¹)	RT (%)	AE (m ²)	AM (m ²)	ICV (%)
1	0,59	0,2847	78,78	0,0555	0,4553	36,00
2	0,81	0,4641	81,51	0,1367	0,5035	37,50
3	1,42	0,7042	79,19	0,1018	0,4832	41,00

Tabela 2. Resultados médios das variáveis velocidade (ΔV), capacidade de campo efetiva (CCE), rendimento operacional teórico (RT), área de elevação (AE), área mobilizada (AM) e incorporação de cobertura vegetal (ICV) para espaçamento 2.

Velocidades	ΔV (km h ⁻¹)	CCE (ha h ⁻¹)	RT (%)	AE (m ²)	AM (m ²)	ICV (%)
1	0,53	0,3370	80,81	0,0897	0,4608	29,7
2	0,90	0,5220	79,45	0,1157	0,4722	24,5
3	1,32	0,8280	80,70	0,1381	0,4970	39,2

Tabela 3. Resultados médios das variáveis velocidade (ΔV), capacidade de campo efetiva (CCE), rendimento operacional teórico (RT), área de elevação (AE), área mobilizada (AM) e incorporação de cobertura vegetal (ICV) para espaçamento 3.

Velocidades	ΔV (km h ⁻¹)	CCE (ha h ⁻¹)	RT (%)	AE (m ²)	AM (m ²)	ICV (%)
1	0,60	0,3706	78,42	0,1005	0,5638	38,7
2	0,99	0,5757	77,32	0,1080	0,5822	23,2
3	1,12	0,9718	83,58	0,1618	0,6155	35,2

Tabela 4. Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis de velocidade real de deslocamento (VR), capacidade de campo efetiva (CCE) e rendimento teórico (RT).

Fatores	VR (kmh ⁻¹)	CCE (hah ⁻¹)	RT (%)
Espaçamento (E)			
E ₁	3,73 a	0,4843	79,83 a
E ₂	3,75 a	0,5623	80,32 a
E ₃	3,76 a	0,6394	79,77 a
Velocidade (V)			
V ₁	2,21 c	0,3308	79,34 a
V ₂	3,48 b	0,5206	79,43 a
V ₃	5,55 a	0,8347	81,16 a
Teste F			
E	0,1052 NS	95,8896 **	0,0954 NS
V	918,9431 **	1033,0609 **	1,0863 NS
ExV	1,7558 NS	13,0293 **	1,8484 NS
C.V.%	4,46	4,23	3,69

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns: não significativo (p>0,05); *: significativo (p<0,05); **: significativo (p<0,01); c.v.: coeficiente de variação.

Pela Tabela 5 nota-se que, para V₁, ocorreu semelhança estatística entre os espaçamentos E₂ e E₃, sendo estes superiores a E₁. Para V₂ e V₃, houve diferença estatística entre todos os espaçamentos

estudados, sendo que, em ambos, E_3 foi superior a E_2 que, por sua vez, foi superior a E_1 .

Tabela 5. Interação entre os fatores espaçamento e marcha para a variável capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}).

Espaçamento	Velocidade		
	V1	V2	V3
E1	0,2847 a A	0,4641 a B	0,7042 a C
E2	0,3370 b A	0,5220 b B	0,8280 b C
E3	0,3706 b A	0,5757 c B	0,9680 c C

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 5, verifica-se que, para todos os espaçamentos (E_1 , E_2 e E_3), a variável capacidade de campo efetiva foi maior em V_3 , seguida de V_2 e V_1 , como esperado.

Nas Tabelas 1, 2 e 3, visualizam-se as médias dos resultados da variável rendimento teórico em todos os tratamentos estudados. De acordo com os dados da Tabela 4, observa-se que não ocorreu interação estatística significativa entre os fatores.

Verificou-se que o fator espaçamento não influenciou a variável rendimento teórico; desse modo, ocorreu semelhança estatística entre E_1 , E_2 e E_3 e, ainda verificou-se que o fator velocidade não influenciou a variável, ocorrendo semelhança estatística entre V_1 , V_2 e V_3 .

Tabela 6. Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis de área de elevação (AE), área mobilizada (AM) e incorporação de resíduos vegetais (IRV).

Fatores	AE (m^2)	A M (m^2)	IRV (%)
Espaçamento (E)			
E1	0,0980 a	0,4807 b	38,17 a
E2	0,1145 a	0,4767 b	32,33 a
E3	0,1234 a	0,5872 a	31,11 a
Velocidade (V)			
V1	0,0819 a	0,4933 a	34,78 a
V2	0,1201 a	0,5193 a	28,39 a
V3	0,1339 a	0,5319 a	38,44 a
Teste F			
E	0,6592 NS	9,7990 **	1,3776 NS
V	2,8750 NS	0,9640 NS	2,5093 NS
E x V	0,7820 NS	0,1886 NS	0,8127 NS
C.V.%	42,58	11,67	28,45

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ($p < 0,05$); **: significativo ($p < 0,01$); c.v.: coeficiente de variação.

Com relação à área de elevação do perfil do solo, de acordo com a Tabela 6, não ocorreu interação estatística significativa entre os fatores espaçamento e velocidade.

Analisando a Tabela 6, verifica-se que o fator espaçamento não influenciou significativamente a variável elevação do perfil do solo, ocorrendo semelhança estatística entre E_1 , E_2 e E_3 .

Verificou-se ainda que o fator marcha não influenciou significativamente a variável área de

elevação do perfil do solo. Desse modo, ocorreu semelhança estatística entre V_1 , V_2 e V_3 .

Quanto à área mobilizada, conforme os dados da Tabela 6, notou-se que, nessa variável, um fator não interferiu no comportamento do outro, ou pode-se dizer que não ocorreu interação estatística significativa entre os fatores espaçamento e marcha.

Verificou-se que o fator espaçamento influenciou significativamente a variável área mobilizada. Foram observados maiores valores de área mobilizada para E_3 , enquanto E_1 foi estatisticamente semelhante a E_2 , contrariando os resultados obtidos por Spoor e Godwin (1978) que afirmaram que a área mobilizada do solo é maior quando a relação espaçamento entre hastes x profundidade de trabalho está em torno de 1,0m a 1,5m, já que a relação para E_3 , nesse experimento, era de 1,75m.

Observou-se ainda que o fator velocidade não influenciou estatisticamente a variável área mobilizada. Desse modo, ocorreu semelhança estatística entre V_1 , V_2 e V_3 .

De acordo com os dados da Tabela 6, percebe-se que, na variável incorporação de resíduos vegetais não ocorreu interação estatística significativa entre os fatores espaçamento e velocidade e, ainda, que no fator espaçamento não ocorreu diferença estatística significativa para a variável incorporação de resíduos vegetais (%).

Constatou-se também que o fator velocidade não influenciou a variável incorporação de resíduos vegetais. Desse modo, não ocorreu diferença estatística entre V_1 , V_2 e V_3 .

Conclusão

O fator espaçamento influenciou positivamente as variáveis área mobilizada e capacidade de campo efetiva. Ocorreu interação significativa entre os fatores espaçamento e velocidade para a variável capacidade de campo efetiva.

Não se observou a influência dos fatores marcha e espaçamento nas variáveis rendimento teórico, área de elevação e incorporação de resíduos vegetais.

Referências

- ALVARENGA, R. C. *et al.* Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. *Rev. Ceres*, v.44, p.421-31, 1997.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. *Anais...*, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)
- ASAE: Terminology and definitions for soil tillage and soil

- tool relationships. *Engineering Practice EP*, v. 291, n.1, p.229-241. 1982.
- BALASTREIRE, L. A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1990.
- BELTRAME, L. F. S. Avaliação do desempenho de três subsoladores em Latossolo Vermelho Escuro. *Revista engenharia agrícola*, v. 7,n.1, p. 37 - 52, 1983.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Compactação do solo e desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Potafós, 1997.
- CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.21, p.99-104, 1997.
- CINTRA, F. L. D. et al. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 7, p.323-7, 1983.
- DALLMEYER, A. U. *Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo*. 1994. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Recomendações técnicas para o cultivo do milho*.2.ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1997.
- HÅKANSSON, I. et al. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and response in different traffic regimes. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v.11, n.3-4, p.239-82, 1988.
- LAFLEN, J. M. et al. Measuring crop residue cover. *Soil water Conservation*, v.36, p. 341 - 9, 1981.
- LANÇAS, K. P. *Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes*. 1998. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.
- MARSHALL, R. M.; RANEY, W. A. Modifying soil profiles. In: Power to produce. The Yearbook of agriculture soil. The United States Government Printing Office, 1960.
- PIMENTEL GOMES, F. *A estatística moderna na agropecuária*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987.
- SALVADOR, N. *Consumo de energia na operação de subsolagem realizada antes e depois de sistemas de preparo periódico do solo*. 1992. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.
- SPOOR, G.; GOODWIN, R. J. An investigation into deep loosening of soil by rigid tines. *J. Agric. Eng. Res.*, London, v. 23, n. 12, p. 243-258, 1978.
- TAYLOR, J. C.; BELTRAME, L. F. S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. *Lavoura Arroz.*, Porto Alegre, v. 3, p. 34. 1980.

Received on April 28, 2003.

Accepted on March 09, 2004.