

Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos

Operational performance of a subsoiler as a function of the structure, clay and moisture content in three latosols

Cassiano Massakazu Sasaki
José Leonardo de Moraes Gonçalves

RESUMO: Algumas pesquisas indicam que o teor de água e o tipo de solo são as variáveis edáficas que mais influem nas operações de preparo de solo (BAVER *et al.*, 1972; CASSEL, 1979; McKYES, 1985; SRIVASTAVA *et al.*, 1993). O amplo emprego do subsolador no cultivo mínimo e a falta de estudos científicos na avaliação do desempenho operacional de subsoladores motivaram a condução deste estudo, que teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de um subsolador de haste parabólica em função do tipo de estrutura, do teor de argila e de água de três Latossolos: um Latossolo Vermelho Distrófico textura média (LVd-1), um Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa (LVd-2) e um Latossolo Vermelho Distrófico, textura muito argilosa (LVd-3). O subsolador foi avaliado por meio dos parâmetros volume mobilizado de solo (VMS), profundidade efetiva de trabalho (PET), largura efetiva de trabalho (LET), velocidade média de deslocamento (VMD), capacidade teórica de trabalho (CTT) e rendimento (R). Dentro dos limites de teor de água estudados, as variáveis VMS, LET, VMD, CTT e R indicaram que quanto mais seco era o solo, melhor o desempenho operacional do subsolador. Nos solos com estrutura em blocos (LVd-2) e com alto teor de argila (LVd-3) foram obtidos o maior VMS (com o solo mais seco) e o menor R (com o solo mais úmido). O LVd-1 foi o solo que apresentou a menor resposta aos tratamentos, em função de sua capacidade de suporte ser mais estável do que a dos outros Latossolos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Preparo de solo, Subsologem, Cultivo mínimo

ABSTRACT: Some researches indicate that the soil moisture and type are the soil variables that present the most influence on the tillage operations (BAVER *et al.*, 1972; CASSEL, 1979; McKYES, 1985; SRIVASTAVA *et al.*, 1993). The large use of the subsoiler in the minimum tillage and the absence of scientific study about the evaluation of the operational performance of the subsoilers motivated the present study, which had as objective to evaluate the operational performance of a subsoiler with parabolic tine as a function of the soil structure, clay and moisture content of three Latosols: a sandy clay loam dystrophic Red Latosol (LVd-1) and two clay dystrophic Red Latosols (LVd-2 and LVd-3). The subsoiler was evaluated according to soil disturbed volume (SDV), work depth (WD), work width (WW), average speed (AS), theoretical work capacity (TWC) and efficiency (E). Between the moisture content limits studied, higher operational performance (SDV, WD, AS, TWC, and E) was obtained under low moisture content. The block structure of the LVd-2 and the high clay content of the LVd-3 resulted in larger SDV (when the soils were dryer) and larger E (when the soils were damper). The LVd-1 was the soil that presented smaller result variations, because its support capacity was more stable than that of the other studied Latosols.

KEYWORDS: Tillage, Subsoiling, Minimum tillage

INTRODUÇÃO

O preparo de solo influencia o crescimento inicial das plantas, a uniformidade e a produtividade da floresta, além de ter relação direta com o potencial de conservação do solo. Dentre as diversas opções de preparo, a subsolagem tem se consolidado na área florestal, devido aos seus efeitos benéficos sobre o solo e às suas vantagens operacionais e econômicas. Sua adoção no setor florestal está estreitamente relacionada à difusão do cultivo mínimo, o qual objetiva baixa mobilização mecânica e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo. Atualmente, a subsolagem tornou-se uma operação comum, empregada na maioria das plantações florestais (GAVA, 2002; GONÇALVES *et al.*, 2002; SASAKI *et al.*, 2002).

A subsolagem pode ser descrita como a ação de uma ferramenta estreita que rompe camadas adensadas ou compactadas de solo, com o objetivo de diminuir sua resistência à penetração de raízes, aumentar a aeração e a drenagem interna do solo, de modo a diminuir o escoamento superficial e o tempo de encharcamento (TAYLOR e BELTRAME, 1980). Apesar dessa concepção, a subsolagem na área florestal não tem prioritariamente como objetivo o rompimento de camadas compactadas, mas o desadensamento de pequena porção de solo na linha de plantio, e assim promover o enraizamento das plantas e aumentar o teor de água no solo devido a uma taxa maior de infiltração (GONÇALVES *et al.*, 2002; SASAKI *et al.*, 2002).

A distinção entre subsolagem e escarificação tem sido vinculada especialmente à profundidade de trabalho. Silveira (1988) considera que a operação deve atingir profundidade superior aos 0,30-0,35 m para ser considerada subsolagem. Para a ASAE (1982), essa profundidade deve ser maior que 0,40 m. Taylor e Beltrame (1980), Rípoli *et al.* (1985) e Gadanha Júnior *et al.* (1991) consideram que a subsolagem pode atingir profundidades de até 0,80 m. Em áreas florestais, com solos coesos, essa profundidade pode chegar a até 1,10 m (STAPE *et al.*, 2002; SOUZA, 2002).

Para se avaliar o desempenho operacional de subsoladores podem ser utilizados os parâmetros área mobilizada de solo, profundidade e largura efetiva de trabalho, velocidade de deslocamento, consumo de combustível, força de tração, patinação, resistência específica operacional e capacidade de trabalho. Os parâmetros que podem afetar o desempenho operacional dos subsoladores são a configuração da haste, o tipo e o tamanho da ponteira, o tipo de solo e o teor de água em

que ele é subsolado, a potência e o tipo de tração do trator, a velocidade de trabalho, dentre outros (BENTIVENHA *et al.*, 2003; BELTRAME, 1983; BICUDO, 1990; GAMERO e LANÇAS, 1996; GARNER *et al.*, 1987; LANÇAS, 1988; LANÇAS e BENEZ, 1989; McKYES, 1985; MIALHE, 1996; SASAKI *et al.*, 2002; SPOOR e GODWIN, 1978; YSHIMINE, 1993).

Algumas pesquisas indicam que o teor de água e o tipo de solo são as variáveis edáficas que mais influem nas operações de preparo de solo (BAVER *et al.*, 1972; CASSEL, 1979; McKYES, 1985; SRIVASTAVA *et al.*, 1993). Em geral, solos com teores de água elevados geram menor demanda por força de tração, apesar de não serem mobilizados adequadamente (BELTRAME, 1983; RÍPOLI *et al.*, 1985; SASAKI *et al.*, 2002). Teores de argila elevados, presença de argilas 2:1 e 1:1, camadas de adensamento natural e horizontes B mais superficial são algumas das características do solo que alteram o trabalho eficiente de um subsolador (GARNER *et al.*, 1987; STAFFORD (1979); STAPE *et al.*, 2002).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de um subsolador em função do tipo de estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos amplamente usados em plantações florestais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda das Estrelas (23°29'S, 47°42'W, 610 m de altitude), localizada no Município de Alambari, SP, e na Fazenda Santa Rosa (23°51'S, 47°51'W, 715 m de altitude), localizada no Município de São Miguel Arcanjo, SP. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de Alambari é do tipo Cfa, em que a temperatura média do mês mais quente (janeiro) é de 22 a 23°C e a do mês mais frio (julho) é de 15 a 16°C, com precipitação média anual de 1200 mm. São Miguel Arcanjo apresenta clima do tipo Cfb, em que a temperatura média do mês mais quente (janeiro) é de 21 a 22°C e a do mês mais frio (julho) é de 14 a 15°C, com precipitação média anual de 1400 mm.

Pelo sistema de classificação atual (EMBRAPA, 1999b), o solo da área experimental da Fazenda das Estrelas foi caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico textura média (LVd-1) e, os da Fazenda Santa Rosa, como Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa (LVd-2) e Latossolo Vermelho Distrófico textura muito argilosa (LVd-3). Foram coletadas 48 amostras deforma-

das por solo para caracterização dos óxidos (ataque sulfúrico), da textura (método da pipeta) e da densidade de partículas (picnômetro) (EMBRAPA, 1997). A matéria orgânica foi determinada segundo EMBRAPA (1999a). Alguns dos atributos morfológicos, físicos e químicos dos solos são apresentados na Tabela 1.

As análises físico-mecânicas dos solos foram realizadas em 24 amostras não deformadas para cada tipo de solo, que foram coletadas na profundidade de 17 a 22 cm, em anéis com 50 mm de diâmetro por 50 mm de altura. Essas amostras, após serem saturadas com água, foram submetidas aos potenciais de -0,01 e -1,5 MPa, utilizando pressões aplicadas em câmaras com placas porosas, conforme Klute (1986). Cessada a drenagem e atingindo o equilíbrio hidráulico aparente, as amostras foram pesadas e, em seguida, secas em estufa a ± 105°C, por 24 horas, para a determinação da densidade do solo (Blake e Hartge, 1986).

O trator usado para tracionar o subsolador era da marca Valtra, modelo 985S, equipado com motor de aspiração forçada de quatro cilindros, quatro tempos, potência de 77 kW (105 cv) a 2300 rpm e torque de 390 Nm a 1400 rpm. A capacidade máxima de levante do sistema hidráulico era de 25408 N (2590 kgf) a 610 mm do olhal. Durante as avaliações foi empregada a marcha 2H (segunda marcha rápida), com a tração dianteira auxiliar (TDA) acionada e a rotação do motor fixada em 2500 rotações por minuto.

O subsolador avaliado foi de haste única, acoplado ao sistema hidráulico de três pontos do trator, com controle de profundidade por braçadeira de fixação. O formato da haste subsoladora era parabólico e representado pela equação $f(x) = 1,881 - 0,163.x + 0,091.x^2$ (Figura 1). A ponteira do subsolador possuía largura de 6,5 cm (Figura 1), o que habilita o trabalho em profundidades de 32,5 a 45,5 cm, pois se considera que a profundidade ideal de trabalho deve ser de 5 a 7 vezes a largura da ponteira (Spoor e Godwin, 1978).

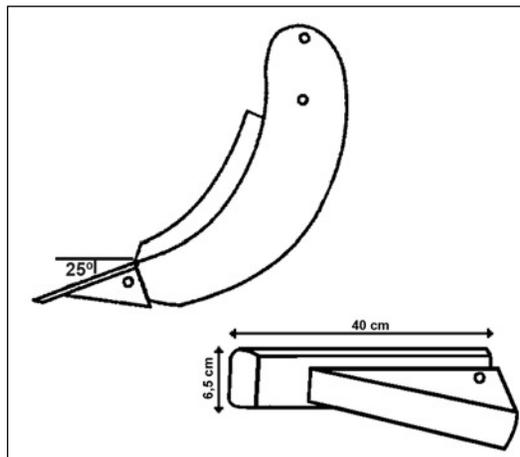


Figura 1. Haste parabólica e dimensões da ponteira sem asas do subsolador. (Parabolic tine and not-winged chisel dimensions of the subsoiler)

Tabela 1.

Alguns atributos físicos, químicos e morfológicos da camada 0 a 40 cm dos solos (Some physical, chemical and morphological characteristics of the 0 to 40 cm layer of the soils)

Solo	Argila	Silte	Areia				Densidade		Ataque H ₂ SO ₄ (d=1,47)			Ki ⁽¹⁾	Kr ⁽²⁾
			Fina	Média	Grossa	Total	Partícula	Solo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃		
			g kg ⁻¹				Mg m ⁻³		g kg ⁻¹				
LVd-1	240	90	230	400	40	670	2,68	1,49	36	84	27	0,73	0,61
LVd-2	460	150	300	70	20	390	2,61	1,35	96	140	87	1,16	0,83
LVd-3	620	70	110	90	110	310	2,63	1,22	68	211	84	0,55	0,44

Solo	Poros. total	M.O.	Cor úmida	Estrutura		Consistência			
				Tipo	Grau	Seca	Úmida	Molhada	
								Plasticidade	Pegajosidade
m ³ m ⁻³	g kg ⁻¹								
LVd-1	0,44	1,8	2,5YR 3/4	granular	fraca	lig. dura	friável	lig. plástica	lig. pegajosa
LVd-2	0,48	3,1	2,5YR 3/6	bloco subang.	forte	dura	friável	plástica	pegajosa
LVd-3	0,54	3,5	10R 3/6	granular	moderada	lig. dura	friável	plástica	pegajosa

(1) Ki é a relação molecular entre a sílica (SiO₂) e a alumina (Al₂O₃); calculada pela fórmula: %SiO₂ x 1,70 / %Al₂O₃;
 (2) Kr é a relação molecular entre a sílica (SiO₂) e a soma alumina (Al₂O₃) mais óxido ferroso (Fe₂O₃); calculada pela fórmula: % SiO₂ x 1,70 / [%Al₂O₃ + (%Fe₂O₃ x 0,64)].

Os tratamentos experimentais consistiram em realizar as subsolagens entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). Em cada tipo de solo foram realizadas subsolagens em cinco níveis de teor de água, encontrados no campo após diferentes períodos de estiagem. No momento de cada subsolagem, foram coletadas 48 amostras de solo deformadas para determinação de seu teor de água, pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997). O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas, com quinze tratamentos (3 solos vezes 5 níveis de teor de água) e quatro repetições. No LVd-1, os teores de água foram 0,079; 0,087; 0,102; 0,115 e 0,143 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. No LVd-2, os teores de água foram 0,127; 0,152; 0,161; 0,177 e 0,213 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e no LVd-3, os teores de água foram 0,151; 0,192; 0,227; 0,273 e 0,322 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. A CC do LVd-1 foi de 0,17 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, a do LVd-2 foi de 0,23 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, e a do LVd-3 foi de 0,34 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. O PMP do LVd-1 foi de 0,07 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, o do LVd-2 foi de 0,12 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, e o do LVd-3 foi de 0,14 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Cada parcela experimental tinha 60 m^2 , 20 m de comprimento por 3 m de largura. Antes de cada parcela, foram reservados 15 m para a estabilização da velocidade de trabalho e profundidade de operação do subsolador. Outros 15 m após a parcela foram usados para manobras e outras operações. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, à análise de variância (ANOVA) e à análise de regressão, todas ao nível de 5% de probabilidade. Os programas estatísticos usados nas análises foram o Sigmaplot (2002) e o Statgraphics Plus for Windows (1995).

O desempenho operacional do subsolador foi avaliado pelos parâmetros volume mobilizado de solo por hectare, profundidade e largura efetiva de trabalho, velocidade de deslocamento, capacidade teórica de trabalho do conjunto trator-implimento e rendimento. O volume mobilizado de solo por hectare foi determinado baseado no espaçamento de 3 m entre as linhas de plantio, de acordo com a equação:

$$VMS = AMS \times \frac{10.000}{L} \quad (1)$$

em que:

VMS é o Volume Mobilizado de Solo, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$;

AMS é a Área Mobilizada de Solo, m^2 ;

L é o Espaçamento entre Linhas de Plantio.

A área mobilizada de solo foi avaliada pelo método das zonas de resistência (STAPE *et al.*,

2002; BENTIVENHA *et al.*, 2003). Inicialmente, antes da subsolagem, fez-se a avaliação da resistência à penetração do solo em condições naturais com uso de um penetrômetro de impacto (STOLF *et al.*, 1982). Após a subsolagem, com o mesmo penetrômetro, em três transectos por parcela experimental, perpendiculares à linha central de subsolagem, foi avaliada a resistência à penetração do solo resultante dessa operação. Esses transectos possuíam largura total de 90 cm, 45 cm à esquerda e 45 cm à direita da linha central. As sondagens foram feitas a cada 15 cm (Figura 2). A AMS foi considerada como toda porção de solo que apresentou resistência à penetração menor do que aquela obtida antes da subsolagem. No exemplo da Figura 2, a resistência à penetração do solo obtida antes da subsolagem foi de 2,4 MPa, num teor de água de 0,227 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. A área mobilizada de solo foi, portanto, a porção de solo que apresentou resistência à penetração inferior a este valor, destacada na Figura 2. As isolinhas com resistência à penetração maior do que a isolinha de 2,4 MPa foram resultantes do deslocamento de solo causado pela passagem do subsolador (NICHOLS *et al.*, 1958). A profundidade (PET) e a largura efetiva de trabalho (LET) foram geradas pelas figuras da AMS (Figura 2). A LET foi determinada aos 5 cm de profundidade em função da baixa resistência à penetração observada na camada de solo de 0 a 5 cm de profundidade. A velocidade média de deslocamento do conjunto trator/implimento foi avaliada de modo indireto, dividindo-se o tamanho da parcela experimental pelo tempo de percurso, medido por cronômetro. Foram realizadas quatro repetições por coleta de dados, usando-se a seguinte equação:

$$VMD = \frac{S}{T} \times 3,6 \quad (2)$$

em que:

VMD é a Velocidade Média de Deslocamento, km h^{-1} ;

S é o espaço percorrido na parcela, 20 m;

t é o tempo gasto no percurso, s.

A capacidade teórica de trabalho foi obtida por meio da seguinte equação:

$$CTT = \frac{VMD \times L}{10.000} \quad (3)$$

em que:

CTT é a Capacidade Teórica de Trabalho, ha h^{-1} ;

VMD é a Velocidade Média de Deslocamento, km h^{-1} ;

L é o Espaçamento entre Linhas de Plantio.

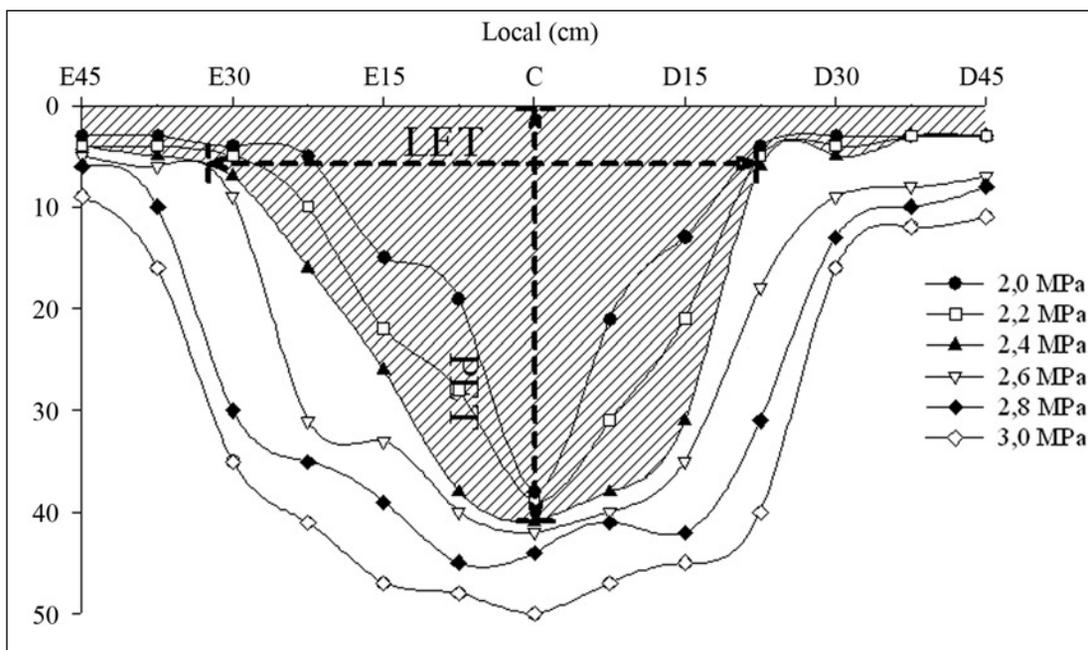


Figura 2.

Exemplo ilustrativo de isolinhas de resistência à penetração do solo, obtidas pelo penetrômetro de impacto. No eixo X, o ponto C está localizado na linha central de subsolagem e, os demais, à esquerda e à direita, à distância de 15 cm um do outro. A área em destaque é delimitada pela isolinha que corresponde à resistência à penetração antes da subsolagem (2,4 MPa), portanto, designa a área mobilizada de solo pela subsolagem (AMS). Em tracejado, a determinação da profundidade (PET) e da largura efetiva de trabalho (LET), pelo método das zonas de resistência

(Example illustrating soil penetration resistance isolines, obtained with an impact penetrometer. On the X axis, point C is located on the central subsoiling row, and the others are located at a 15 cm distance to the left or to the right from one another. The highlighted area is delimited by the isoline that corresponds to the resistance to penetration before subsoiling (2.4 MPa); therefore, it designates the soil disturbed area (SDA). In highlight, is the determination of the work depth (WD) and the work width (WW) by the resistance zones methodology)

O rendimento da subsolagem foi avaliado por meio da seguinte equação:

$$R = \frac{\text{tempo do percurso sem realizar a subsolagem}}{\text{tempo do percurso realizando a subsolagem}} \times 100 \quad (4)$$

em que:

R é o Rendimento, %.

A obtenção do tempo de percurso sem realizar a subsolagem foi realizada por cronômetro, em áreas planas com o mesmo comprimento das parcelas (20 m). Nessas áreas, o trator também foi mantido em segunda marcha rápida (2H), com tração dianteira auxiliar (TDA) acionada e rotação do motor fixada em 2500 rotações por minuto. Foram realizadas quatro repetições por coleta de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume mobilizado de solo (VMS) e o teor de água apresentaram relação inversa para os três Latossolos (Figura 3). Para os teores de água estudados, verificou-se que quanto menor era o teor de água, maior era o VMS. Isso pode ser atribuído à maior força de coesão entre as partículas do solo, pois em baixos teores de água a coesão é maior (BAVER *et al.*, 1972; SILVA *et al.*, 2002). Nichols *et al.* (1958) afirmam que quanto mais coeso o solo, mais eficiente é a propagação dos efeitos da subsolagem nos seus planos de cisalhamento (à frente, acima e lateralmente à haste subsoladora). Outro fator que deve ser considerado é o efeito lubrificante da água, que é reduzido quando o solo está mais seco, proporcionando maior mobilização (ROSA JÚNIOR,

2000; SILVA *et al.*, 2002). SASAKI *et al.* (2002) e BENTIVENHA *et al.* (2003) verificaram o mesmo efeito num Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (340 g kg⁻¹ de argila), em dois teores de água (0,03 e 0,17 cm³ cm⁻³).

O Lvd-2 foi o solo que, na média, apresentou maior mobilização (Figura 3). Isso pode ter ocorrido devido à estrutura em blocos deste solo (rico em caulinita), conseqüentemente, mais coeso. O Lvd-3, de textura fina e estrutura moderada granular, apresentou maior mobilização que o Lvd-1, de textura mais grossa e estrutura fraca granular (Tabela 1). A maior coesão dos solos de textura fina (quando secos) é a razão mais plausível para explicar esses resultados (BAVER *et al.*, 1972; GONÇALVES, 2002). Não houve nenhuma tendência de dispersão dos dados em função do aumento do teor de água nos solos e, no geral, a variação foi aceitável. O maior coeficiente de variação (CV) para o VMS foi de 8,7%, observado no Lvd-3, e o menor CV foi de 2,2%, observado no Lvd-2.

A profundidade efetiva de trabalho (PET), mensurada nos perfis de solo gerados pelo método das zonas de resistência, apresentou relativamente baixa variabilidade (Figura 3), apesar de ser considerada uma operação variável (BICUDO, 1990; LANÇAS, 1988; SASAKI *et al.*, 2002; YSHIMINE, 1993). Isso pode ter ocorrido por 3 razões principais: i) houve uma regulagem rigorosa do equipamento, realizando-se vários testes de profundidade em locais adjacentes às áreas experimentais, até se atingir os 40 cm propostos; ii) as áreas experimentais eram planas, com declividade média inferior a 2% e, iii) houve limpeza manual prévia dos resíduos culturais, a fim de se evitar o “embuchamento” do subsolador ao operar. O maior CV foi de 13,3%, observado no Lvd-1, mas, na média, os 40 cm de profundidade planejados foram atingidos para todos os solos.

Em geral, verificou-se a tendência de aumento da largura efetiva de trabalho (LET) com a diminuição do teor de água no solo (Figura 3). A maior coesão entre as partículas do solo em teores de água mais baixos constitui uma explicação plausível para esses resultados. Na média, o Lvd-1 apresentou os menores valores de LET, explicado pela menor coesão entre as partículas desse solo, o que prejudicaria a propagação de energia em seus planos de cisalhamento (Nichols e Reed (1934), citados por BAVER *et al.*, 1972; NICHOLS *et al.*, 1958). A LET foi um dos parâmetros que apresentou variação dos resultados bastante expressiva, com CV de 31,3% para o Lvd-1.

A velocidade média de deslocamento (VMD) apresentou tendência de relação inversa com o

teor de água no solo (Figura 4). A maior sustentação do solo nessas condições é a causa provável deste efeito, pois, em solos mais secos, o atrito entre o solo e os rodados do trator aumenta (McKYES, 1985; OHU *et al.*, 1986; RAGHAVAN *et al.*, 1976). Dentre os três Latossolos, o Lvd-1 foi aquele que apresentou a menor variação para a VMD (Figura 3). Isso ocorreu porque os solos de textura mais grossa, com distribuição desigual de partículas de diferentes tamanhos, são menos sensíveis à variação de umidade. Por isso apresentam capacidade de suporte mais estável. Os solos de textura mais fina e com presença de argilas expansíveis são os mais sensíveis à variação de umidade, proporcionando alta capacidade de suporte quando secos e, quando úmidos, baixa capacidade de suporte (Raghavan *et al.*, 1977, citados por SEIXAS, 2002). A VMD apresentou variação muito baixa, sendo o CV de 3,6% o maior, registrado para o Lvd-3. Os resultados para a capacidade teórica de trabalho (CTT) são correlatos com os da VMD, uma vez que a CTT é função da VMD, conforme a equação (4) (Figura 4).

O rendimento (R) foi inversamente proporcional ao teor de água no solo (Figura 4). Isso também ocorreu devido à menor capacidade de suporte do solo mais úmido, o que diminui o atrito entre o solo e os rodados do trator (McKYES, 1985; OHU *et al.*, 1986; RAGHAVAN *et al.*, 1976). O Lvd-2 e o Lvd-3 apresentaram menor rendimento quando úmidos, provavelmente por sua textura e mineralogia, que lhes conferem menor capacidade de suporte nessas situações (Raghavan *et al.*, 1977, citados por SEIXAS, 2002). O maior CV observado foi para o Lvd-3, com valor de 11,1%.

Dentre os seis parâmetros usados na avaliação do desempenho operacional do subsolador, apenas o volume mobilizado de solo e o rendimento variaram significativamente com o teor de água nos solos. O Latossolo caulinitico e o mais argiloso apresentaram resultados operacionais mais variáveis, principalmente se considerados os parâmetros VMS, LET e R (Figuras 3 e 4). No geral, o desempenho operacional do subsolador foi melhor em teores de água mais baixos, concordando com resultados de outras pesquisas (BELTRAME, 1983; BENTIVENHA *et al.*, 2003; BICUDO, 1990; GAVA, 2002; LANÇAS, 1988; SASAKI *et al.*, 2002; SILVEIRA, 1988; TAYLOR e BELTRAME, 1980; YSHIMINE, 1993). Além do ponto de vista operacional, a fisiologia da planta também deve ser considerada, o que implica em realizar a subsolagem em teores intermediários de água no solo, que não prejudiquem a operação e que sejam suficientes para o estabelecimento adequado das plantas.

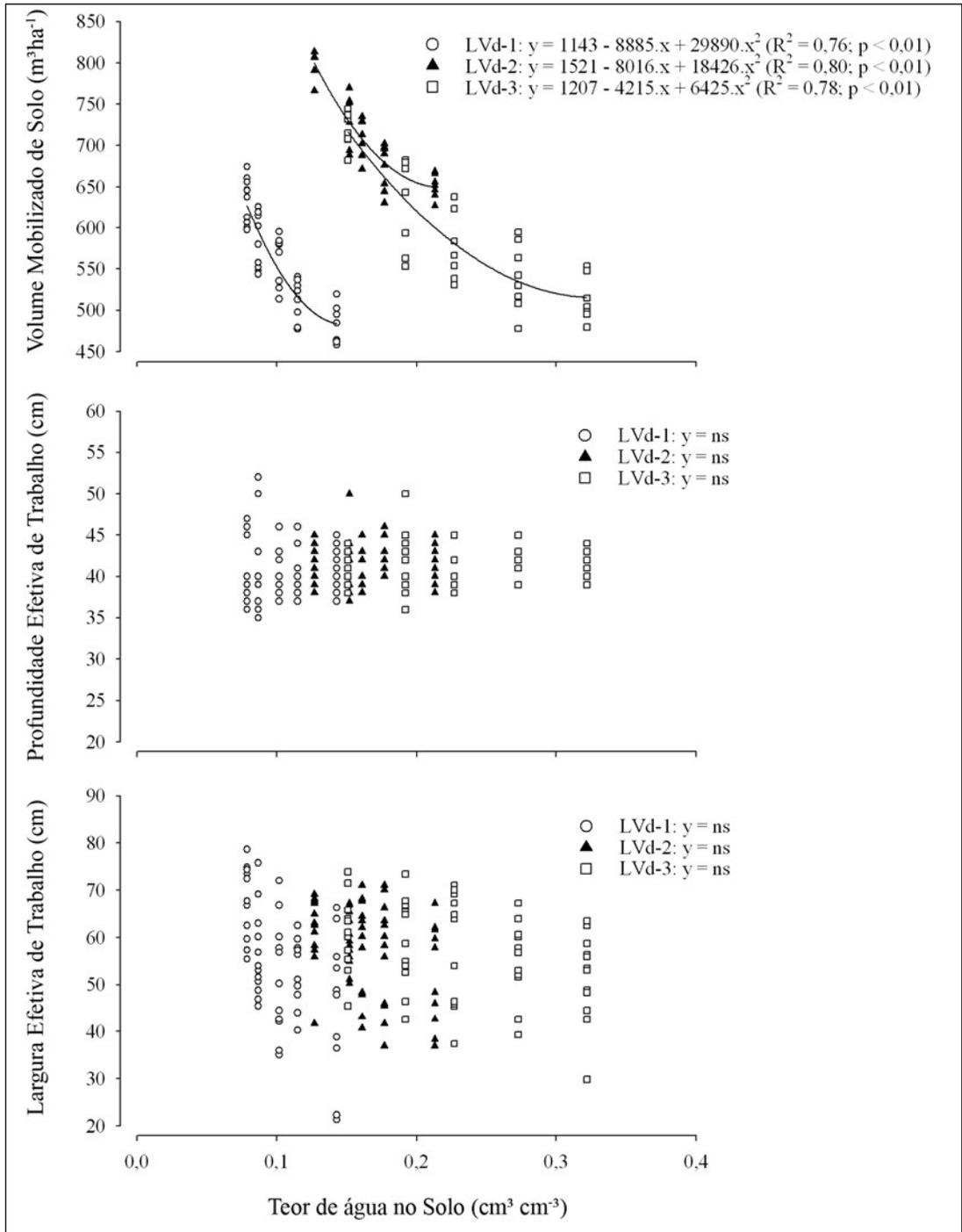
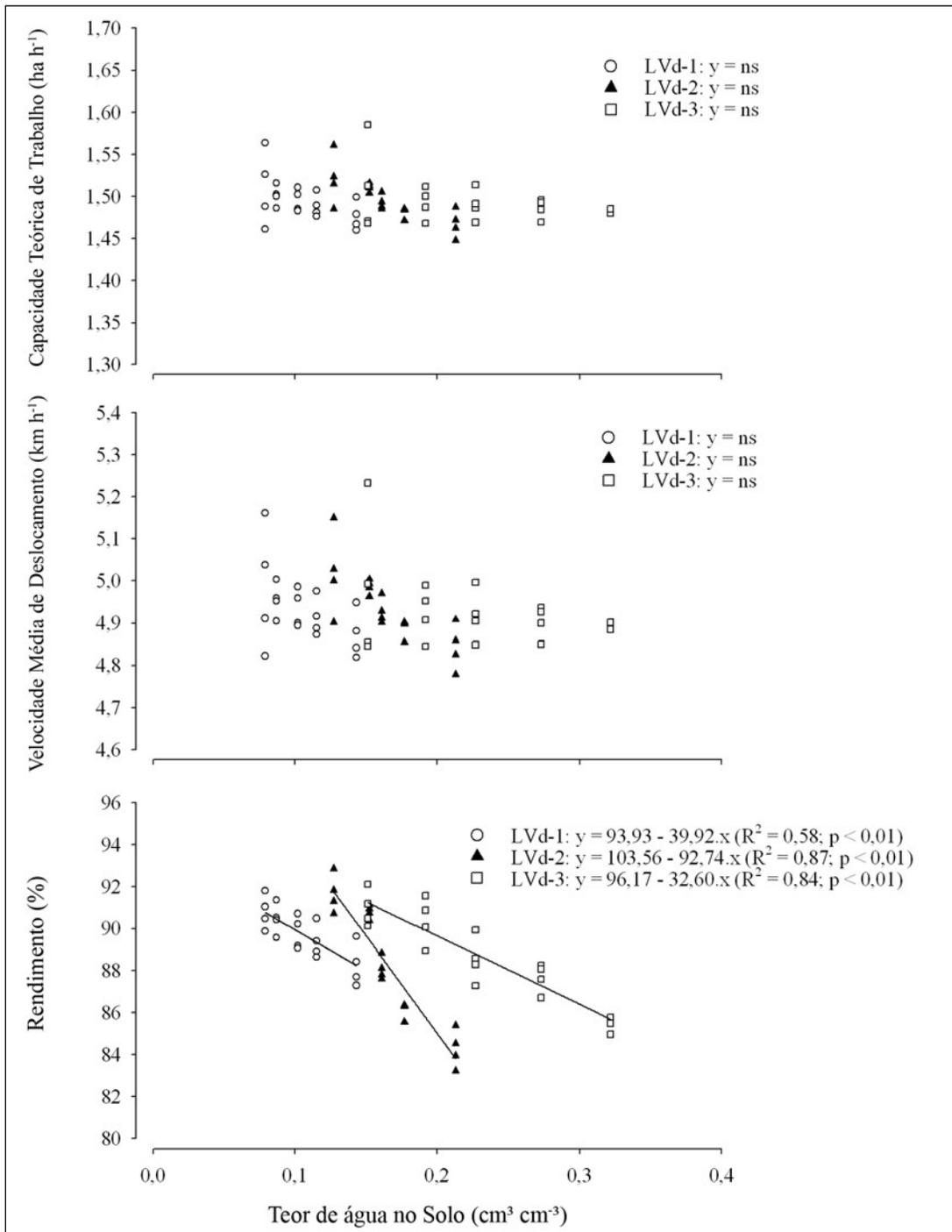


Figura 3.

Volume de solo mobilizado, profundidade efetiva de trabalho e largura efetiva de trabalho em função do teor de água em cada tipo de solo
(Soil disturbed volume, work depth and work width as a function of the moisture content in each soil type)

**Figura 4.**

Capacidade teórica de trabalho, velocidade média de deslocamento e rendimento em função do teor de água em cada tipo de solo

(Work theoretical capacity, average speed and efficiency as a function of the moisture content in each soil type)

CONCLUSÕES

- Nos três Latossolos estudados, o desempenho operacional do subsolador foi melhor em teores mais baixos de água;
- O solo caulínítico (LVd-2) e o mais argiloso (LVd-3) foram os que apresentaram maior mobilização quando secos e menor rendimento quando úmidos;
- No geral, quando os teores de água estiveram entre 50 e 60% da capacidade de campo, os rendimentos operacionais foram mais elevados e a qualidade técnica do preparo de solo mais adequada.

AUTORES

Cassiano Massakazu Sasaki é Engenheiro Florestal, Doutor em Recursos Florestais - Floresteca Agroflorestal Ltda. - Av. Gov. João Ponce de Arruda, 1054, Jardim Aeroporto - Várzea Grande, MT - 78110-971 – E-mail: cassiano.sasaki@floresteca.com.br

José Leonardo de Moraes Gonçalves é Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ / USP - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: jlmgonca@esalq.usp.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standards: terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships**. 40.ed. St. Joseph: ASAE, 1982. p.229-241. (ASAE EP291.1).

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. Nova York: John Wiley, 1972. 498 p.

BELTRAME, L.F.S. Avaliação do desempenho de três subsoladores em Latossolo Vermelho Escuro. **Engenharia Agrícola**, v.7, n.1, p.37-52, 1983.

BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M.; SASAKI, C.M. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.588-605, 2003.

BICUDO, S.J. **Subsolador: algumas relações entre profundidade de trabalho, largura das sapatas e número de hastes**. 1990. 130p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1990.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

CASSEL, D.K. Subsoiling. **Crops and Soils Magazine**, v.32, p.7-10, 1979.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999a. 370p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999b. 412p.

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: CT/CNPq/IBOCT/IPT/CIENTEC/NSI-MA, 1991. 468p.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio & certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p.463-514.

GARNER, T.H.; REYNOLDS, W.R.; MUSEN, H.L.; MILES, G.E.; DAVIS, J.W.; WOLF, D.; PEIPER, U.M. Energy requirement for subsoiling Coastal Plain Soils. **Transactions of the ASAE**, v.30, n.2, p.343-349, 1987.

GAVA, J.L. Cultivo mínimo de solos com textura arenosa em áreas planas e suave-onduladas. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.5, p.221-244.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.1, p.1-45.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.3, p.131-204.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.635-660.

LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes**. 1988. 171p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1988.

LANÇAS, K.P.; BENEZ, S.H. Avaliação dos resultados operacionais obtidos para três formas geométricas de hastes subsoladoras. **Energia na Agricultura**, v.4, n.1, p.27-34, 1989.

- McKYES, E. **Soil cutting and tillage: developments in agricultural engineering**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985. 217p.
- MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 1996. 722p.
- NICHOLS, M.L.; REED, I.F.; REAVES, C.A. Soil reaction to plowshare design. **Agricultural Engineering**, v.39, p.336-339, 1958.
- OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E.; MEHUY, G. Shear strength prediction of compacted soil with varying organic contents. **Transactions of the ASAE**, v.29, n 2, p 351-355, 1986.
- RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E.; CHASSÉ, M.; MÉRINEAU, F. Development of compaction patterns due to machinery operation in an orchard soil. **Canadian Journal of Plant Science**, v.56, p.505-509, 1976.
- RÍPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; NAKAMURA, R.T. **Subsolagem e subsoladores**. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, Departamento Editorial, 1985. 34p.
- ROSA JÚNIOR, E.J. **Efeito de sistemas de manejo da cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Roxo na região de Dourados, MS**. 2000. 112p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2000.
- SASAKI, C.M.; BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.12, p.393-407.
- SEIXAS, F. Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.9, p.313-350.
- SILVA, A.P.; IMHOFF, S.C.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P. Avaliação da compactação de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.10, p.351-372.
- SILVEIRA, G.M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243p.
- SOUZA, A.J. Preparo de solos coesos para cultura do eucalipto no extremo sul da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.8, p.297-311.
- SPOOR, G.; GODWIN, R.J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.23, p.243-258, 1978.
- SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. **Engineering principles of agricultural machines**. Lansing: American Society of Agricultural Engineers - ASAE, 1993. 602 p.
- STAFFORD, J.V. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.24, p.41-55, 1979.
- STAPE, J.L.; ANDRADE, S.; GOMES, A.N.; KREJCI, L. C.; RIBEIRO, J.A. Definição de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.7, p.259-296.
- STATISTICAL GRAPHICS CORP. **STATGRAPHICS PLUS: version 1.4**. Rockville, 1995.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. **Penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSU-CAR: recomendações para seu uso**. Araras: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1982. 19p.
- SYSTAT SOFTWARE INC. **SIGMAPLOT software: version 8**. Chicago, 2002. 65p.
- TAYLOR, J.C.; BELTRAME, L.F.S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. **Lavoura Arrozeira**, v.3, p.34-44, 1980.
- YSHIMINE, P. **Avaliação de algumas forças que atuam em um subsolador utilizado no preparo de solo agrícola**. 1993. 94p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1993.