

Estudo da demanda energética e desagregação do solo em diferentes sequências operacionais de preparo periódico¹

Energetic demand and disaggregation of the soil in different operational sequences of periodic tillage

Nilson Salvador², Renildo Luiz Mion^{3*}, Sérgio Hugo Benez⁴ e Carlos Alberto Viliotti³

Resumo - A correta seleção da sequência operacional do preparo do solo é fundamental para diminuir os custos da mecanização agrícola nas regiões que mobilizam intensamente o solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a demanda energética e a desagregação do solo em diferentes sequências operacionais de subsolagem e sistemas de preparo periódico do solo. O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 5x2 com 5 repetições, com blocos dispostos ao acaso, sendo 5 sistemas de preparo do solo (D - Arado de discos, Dn - arado de discos seguido de uma grade niveladora, G - Grade pesada, Gn - grade pesada seguida de uma grade niveladora e E - escarificador) e duas sequências de subsolagem (SP - Subsolagem - preparo e PS - Preparo - Subsolagem). Foram avaliados a demanda energética, o consumo de combustível por área e a desagregação do solo. Os resultados evidenciaram que a sequência operacional preparo do solo - subsolagem (PS) teve menor requerimento energético, com exceção do escarificador. A sequência preparo do solo - subsolagem consumiu menos combustível e a desagregação do solo não apresentou variação estatística.

Palavras-chave - Agregação do solo. Preparo do solo. Mecanização agrícola.

Abstract - The correct selection of the operational sequence of soil tillage is essential to reduce the cost of agricultural mechanization in the regions that mobilize intensively the soil. The objective of this work was to evaluate the energetic demand and disaggregation of the soil in different operational sequences of subsoiling and systems of periodic soil tillage. The experimental design was blocks at random, in a factorial model 5 x 2 with 5 replications, being 5 tillage systems (D - Disc plow, Dn - disc plow followed at leveler rail, G - weight rail, Gn - weight rail followed of leveler rail and E - Stirrer.) and two sequencies of subsoiling (SP - Subsoiling - tillage and PS - Tillage - subsoiling). There were evaluated the energetic demand, fuel consumption by area and the soil disaggregation. The results showed that the operational sequence tillage of the soil - subsoiling (PS) had a lower energetic requirement, except for the stirrer, the sequence tillage the soil - subsoiling consumed less fuel and soil disaggregation didn't show statistic variation.

Keywords - Soil aggregation. Soil tillage. Agricultural mechanization.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 21/08/2009; aprovado em 30/04/2010

Pesquisa realizada no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras com recursos da própria universidade

²Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, Fone: (0xx) 35-3829-1466, salvador@ufa.br

³Departamento de Engenharia Agrícola, DENA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, rmion@ufc.br, viliotti@ufc.br

⁴Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu-SP, Brasil, benez@fca.unesp.br

Introdução

Para selecionar os sistemas de preparo periódico corretamente, devemos levar em consideração a demanda energética e características do solo como a textura e umidade. Maiores conhecimentos e domínios destas tecnologias podem levar a redução dos custos de produção das culturas (KICHLER et al., 2007). Segundo Mclaughlin et al. (2008), com uma seleção adequada do sistema de preparo do solo e correta adequação do trator e implemento, obtém-se redução na demanda energética de máquinas agrícolas. Avaliando o consumo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas, Fernandes et al. (2008) concluíram que os sistemas de preparo do solo, com menos operações por área, obtiveram menor consumo de combustível.

Salvador et al. (2008a), avaliando a demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo realizado antes e depois da subsolagem, concluíram que o preparo do solo com escarificação obteve menor requerimento energético, quando realizado depois da subsolagem, entretanto, para os sistemas de preparo periódico do solo que utilizaram arado de discos e grades, apresentou melhor eficiência energética quando realizado antes da subsolagem.

Avaliando o requerimento energético em diferentes sistemas de preparo baseados em aração (discos e aivecas), gradagem (pesada e niveladora) e escarificação num Latossolo Vermelho Amarelo, Salvador et al. (1998) concluíram que a escarificação obteve menor demanda energética quando comparada aos demais sistemas de preparo estudados.

Avaliando diferentes sistemas de preparo do solo, Michel Junior et al. (1985) conseguiram uma redução de até 40% no requerimento energético na escarificação quando comparado ao arado de aivecas. O mesmo autor salienta que a correta seleção de sequência da operação é importante para aumentar o lucro dos agricultores.

Analisando o requerimento energético de diferentes sistemas de preparo reduzido e convencional do solo para a cultura do algodão irrigado, Coates e Thacker (1997) afirmaram que o sistema de preparo do solo reduzido diminuiu a mobilização da camada superficial do solo e exigiu menos energia quando comparado aos sistemas convencionais que mobilizam mais o solo. Ainda de acordo com os autores, os produtores podem conseguir redução no consumo de combustível sem alterar a produtividade, selecionando corretamente os sistemas de preparo do solo.

A avaliação energética pode ser realizada com base na medição do consumo de combustível por hectare, principal indicador técnico de referência na avaliação da

eficiência de utilização do trator agrícola, uma vez que demonstra o envolvimento das diversas variáveis que condicionam o rendimento global da transformação do combustível fornecido ao motor em trabalho útil realizado pelo implemento, (SERRANO, 2007).

Abbaspour-Gilandeh et al. (2005) relatam uma economia no requerimento energético e no consumo de combustível da ordem de 50% e 30%, respectivamente, conseguindo através da variação na profundidade de trabalho do arado de aivecas. A realização da subsolagem, depois dos sistemas de preparo periódico, requereu 15% menos potência na barra de tração do trator e economia de 16,5% de combustível por área (SALVADOR et al., 2008b).

Estudando a desagregação do solo provocada por um equipamento de preparo vertical do solo em diferentes velocidades e profundidades de trabalho, num Podzólico Vermelho, Amarelo Fernandes et al. (2001) concluíram que o diâmetro médio geométrico e o módulo de finura dos agregados do solo não variaram estatisticamente para a interação estudada. Carvalho Filho et al. (2007) concluíram que o preparo do solo com o escarificador atende à condição de manejo conservacionista por proporcionar agregados de maior tamanho e por manter elevada quantidade de resíduos na superfície do solo. Este trabalho teve o objetivo de estudar o requerimento energético e a desagregação do solo de diferentes seqüências operacionais de preparo do solo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. A área experimental foi definida pelas seguintes coordenadas geográficas: a) Latitude Sul 22°49'31" e Longitude Oeste 48°25'37". A altitude e a declividade média são de 770 m e 2,5%, respectivamente. A área estava sendo cultivada há vários anos com a cultura do milho, utilizando-se ininterruptamente o sistema convencional de preparo do solo (aração e gradagem).

As condições operacionais dos equipamentos foram: a) arado de discos, de arrasto, com 4 discos de diâmetro de 710 mm e concavidade de 108 mm, peso aproximado de 1.350 kgf - sendo operado com ângulo vertical e horizontal dos discos de 22° e 56°, respectivamente; b) grade aradora de discos, de arrasto, com controle de profundidade por rodas e levantamento através de sistema hidráulico, equipada com 10 discos recortados de 810 mm e concavidade de 101,6 mm, espaçados de 440 mm e peso

de 3.508 kgf - sendo movimentada centralizada em relação ao trator e com ângulo de 45° entre as seções; c) grade niveladora de discos, de arrasto, equipada com 32 discos de 508 mm e concavidade de 60 mm, espaçados entre si de 167 mm, peso de 687 kgf - operaram centralizada em relação ao trator e com ângulo de 45° entre as seções; d) escarificador de hastes rígidas, sem rolo destorroador, equipado com 10 hastes, distribuídas em 3 porta-hastes e ponteiros de 50 mm de largura e ângulo de ataque de 20°; e) subsolador de arrasto, com controle de profundidade por rodas e sistema de levantamento hidráulico, peso aproximado de 710 kgf, dotado de hastes parabólicas e com ponteiros aladas, equipado com três hastes, na configuração triangular, espaçadas entre si de 70 cm; f) trator marca Valmet, modelo 128, 4x2 com tração dianteira auxiliar, com potência na TDP com rotação nominal do motor de 76,5 kW, lastrado, com peso em ordem de marcha de 6900 kgf e pneus dianteiros usados R-1 (14.9-26) - pressão de inflado de 95 kPa e traseiros usados R-1 (18.4-34) - pressão de inflado de 110 kPa.

Para determinação da força de tração, foi utilizada uma célula de carga modelo U1, precisão $\pm 0,3\%$, capacidade de 5 ton, fabricado pela HBM, instalada entre a barra de tração e o cabeçalho de cada implemento.

A força média na barra de tração foi obtida utilizando a força integrada e o tempo gasto para percorrer 30 m, que também foi utilizado para obtenção da velocidade de deslocamento, permitindo ainda o cálculo da potência na barra de tração, conforme Salvador et al. (2009b). A determinação da quantidade de energia requerida por área foi obtido por meio da equação 1:

$$En = (Pb \times Tgs) \quad (1)$$

em que:

En = Energia requerida por hectare (kWh ha⁻¹),

Pb = Potência na barra de tração (kW),

Tgs = Tempo gasto para trabalhar 1 hectare (h ha⁻¹),

Na determinação do consumo de combustível, utilizou-se um aparelho de medição direta, denominado Pierburg, modelo PLU 106, com capacidade de registro de até 60 L h⁻¹, fornecendo o volume consumido por segundo. Após a obtenção dos valores do consumo horário de combustível, detrminou-se o consumo por área através da equação 2:

$$Cc = Tg \times Ch \quad (2)$$

Em que:

Cc = Consumo de combustível por área (L ha⁻¹),

Tg = Tempo gasto por ha,

Ch = Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

O delineamento experimental utilizado foi um esquema fatorial com blocos dispostos ao acaso, com cinco repetições. Os cinco tratamentos de preparo do solo foram os seguintes: D - arado de discos, Dn - arado de discos seguido de uma gradagem leve, G - grade aradora, Gn - grade aradora seguida de uma gradagem leve e E - escarificador e duas sequências operacionais: SP - subsolagem - preparo e PS - preparo - subsolagem.

Na coleta do solo para determinação do diâmetro médio geométrico utilizou-se um equipamento construído em chapas de aço com as dimensões de 30 x 30x 20 cm, o qual foi cravado no meio de cada parcela experimental. Em seguida, foi acondicionado em caixas de papelão mantidas a 80 °C em estufa, com circulação forçada de ar, durante 24 horas. Após a estabilização da umidade das amostras os torrões foram passados em uma peneira concêntrica de vários diâmetros.

Para calcular o diâmetro médio geométrico foi utilizado a equação 3:

$$DMG = \text{anti log} \left[\frac{\sum_{i=1}^n Wi \log di}{\sum_{i=1}^n Wi} \right] \quad (3)$$

em que:

Wi = massa dos agregados retidos em cada classe de tamanho (g);

di = diâmetro de cada classe de torrões (mm).

O módulo de finura foi calculado a partir da equação 4:

$$MF = \frac{\sum \text{porcentagem acumulada}}{100} \quad (4)$$

O solo utilizado para as determinações foi classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico, conforme (EMBRAPA, 1999), e textura argilosa (areia; 17,4%; silte; 31,4% e argila 51,2%). As operações de preparo periódico foram realizadas quinze dias antes da subsolagem, quando o solo apresentava, em média, teor de água de 0,19 e 0,26 m³ m⁻³, nas camadas de 0 a 10 e de 11 a 20 cm de profundidade, e densidade do solo de 1,40 e 1,41 Mg m⁻³, nas diferentes camadas, respectivamente. O preparo do solo foi realizado 17 dias depois da subsolagem, apresentando um teor de água de 0,18 e 0,25 m³ m⁻³ para as camadas de 0 a 10 e 11 a 20 cm, respectivamente.

Para medir a profundidade média de trabalho do arado, grade aradora e escarificador, utilizou-se um perfilômetro, descrito por Salvador et al. (1998), tomada de 50 em 50 mm no sentido transversal da faixa trabalhada, encontrando os seguintes valores: 185; 160 e 169 mm, respectivamente, enquanto que a profundidade do subsolador foi de 312 mm.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, observa-se que a análise de variância para a seqüência operacional estudada foi significativa a 5% de probabilidade para as variáveis energia e consumo de combustível, entretanto, para as variáveis diâmetro médio geométrico e módulo de finura, não ocorreu significância.

O sistema de preparo do solo, baseado em escarificação, apresentou a menor demanda energética da seqüência operacional subsolagem-preparo (SP), quando comparado aos demais sistemas de preparo periódico. Esse comportamento se deve as semelhanças de ação dos

órgãos ativos do escarificador e subsolador. O consumo de energia na combinação SP-E foi 24,5% menor que na combinação SP-G e 36,2 % menor do que na combinação SP-Dn, conforme Tabela 2.

Na seqüência operacional preparo seguido da operação de subsolagem (PS), a faixa resultante de consumo de energia teve uma menor amplitude do que na anterior, todavia a combinação E-PS ou escarificação mais subsolagem também apresentou o menor consumo de energia, com a economia de 16,7% em relação à pior combinação PS-Gn.

Comparando os resultados de cada sistema de preparo nas duas seqüências operacionais, verifica-se que, à exceção da combinação subsolagem escarificação que foi melhor na seqüência SP, a realização dos sistemas de preparo antes da subsolagem foi melhor, com economia de até 21,0% em energia para o tratamento com arado de discos e gradagem de nivelamento. A seqüência subsolagem-preparo (SP) para a grade pesada seguida de uma grade niveladora teve uma demanda de energia de 13,6% superior ao preparo subsolagem (PS), devido a patinação do trator e ação dos órgãos ativos do implemento.

Tabela 1 - Análise de variância dos parâmetros estudados nas seqüências operacionais

Fontes de variação	Gl	Energia (kWh ha ⁻¹)	Cc (L ha ⁻¹)	DMG (mm)	MF (mm)
Blocos	4	13,7366 ^{ns}	12,3294 ^{ns}	6,9854 ^{ns}	0,2422 ^{ns}
Sist. de preparo	4	1073,4554 **	304,2985**	4,9289 ^{ns}	0,2131 ^{ns}
Seq. operacional	1	2093,2909**	763,4747**	11,8974 ^{ns}	0,4600 ^{ns}
Sist. de preparo x seq. operacional	4	245,5087**	56,0621**	2,4760 ^{ns}	0,1032 ^{ns}
Erro	36	7,0382	5,7697	3,4691	0,1256
Total	49				
Cv (%)		3,02	5,31	25,02	8,77

Ns - não significativo, ** significativo a 5% de probabilidade

Tabela 2 - Demanda de energia por hectare (kWh ha⁻¹) nas seqüências operacionais

Sistemas de preparo	Energia (kWh ha ⁻¹)		Diferença (%)
	Seqüências Operacionais		
	SP	PS	
Arado de discos	97,67 Cb	81,55 BCa	-16,5
Arado de discos seguido de uma grade niveladora	109,36 Db	86,35 CDa	-21,0
Grade pesada	92,35 Bb	76,97 Aba	-16,7
Grade pesada seguida de uma grade niveladora	101,83 Cb	88,01 Da	-13,6
Escarificador	69,72 Aa	73,35 Ab	5,2
Média	94,19 b	81,25 a	-13,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

A média geral de energia requerida nas seqüências operacionais mostra que a seqüência preparo-subsolagem (PS) é mais econômica energeticamente, pois foi 13,1% menor do que a seqüência subsolagem-preparo (SP). Essas observações reforçam as afirmações de Michel Júnior et al. (1985) de que a energia requerida nas operações de preparo do solo depende da seqüência de realização das mesmas, da patinagem do trator, bem como dos implementos utilizados.

Nas duas seqüências operacionais, os maiores volumes de combustível foram verificados para os sistemas que envolveram mais de uma operação de preparo periódico (Tabela 3). Na seqüência SP, a combinação subsolagem-escarificação resultou em uma economia de 33,2 e 32,7% de óleo diesel por hectare, em relação às combinações subsolagem-gradagem pesada (SP-Gn) e subsolagem-aração (SP-Dn), respectivamente, o que reforça a viabilidade dos sistemas baseado em escarificação, verificada por Michel Júnior et al. (1985) e Salvador et al. (2009a).

Analisando o consumo de combustível por hectare nas seqüências operacionais, para cada sistema de preparo,

observa-se que, de um modo geral, a realização do preparo antes da subsolagem foi melhor do que na seqüência usada tradicionalmente (SP). Os volumes de combustíveis nas duas seqüências operacionais foram estatisticamente iguais quando realizada a escarificação.

A análise baseada na média geral de cada seqüência mostra a superioridade da seqüência (PS) (preparo-subsolagem), a qual proporcionou uma redução média de 15% no consumo de combustível por hectare. É importante salientar que a regulagem do ângulo dos discos do arado deve-se levar em consideração as condições de compactação do solo, umidade, cobertura vegetal, entre outras características inerentes.

Os resultados mostram que o diâmetro médio geométrico (DMG) não variou estatisticamente dentro de cada seqüência operacional (Tabela 4). Os resultados do módulo de finura (MF) variaram apenas na seqüência operacional subsolagem seguida de preparo periódico do solo (SP), sendo o maior valor para o sistema de preparo com aração (D). Nota-se também certa proporcionalidade entre o gasto de energia e de combustível por hectare com o grau de mobilização do solo.

Tabela 3 - Volume de combustível necessário por hectare (L ha⁻¹) para execução de cada seqüência operacional

Sistemas de preparo	Consumo Combustível (L ha ⁻¹)		Diferença (%)
	Seqüências Operacionais		
	SP	PS	
Arado de discos	48,38 Bb	37,65 Aa	-22,2
Arado de discos seguido de uma grade niveladora	55,80 Cb	44,44 Ba	-20,4
Grade pesada	47,93 Bb	41,56 Aba	-13,3
Grade pesada seguida de uma grade niveladora	56,19 Cb	45,68 Ba	18,7
Escarificador	37,53 Aa	37,42 Aa	-0,3
Média	49,17 b	41,35 a	-15,0

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 4 - Diâmetro médio geométrico (mm) e módulo de finura de agregados do solo após a realização das seqüências operacionais

Sistemas de Preparo	Seqüências Operacionais			
	DMG (mm)		MF	
	SP	PS	SP	PS
Arado de discos	8,51 A	8,37 A	4,26 B	4,22 A
Arado de discos seguido de uma grade niveladora	6,81 A	7,76 A	3,94 AB	4,10 A
Grade pesada	7,38 A	7,67 A	4,02 AB	4,10 A
Grade pesada seguida de uma grade niveladora	5,26 A	7,68 A	3,52 A	4,08 A
Escarificador	6,82A	8,18A	3,94 AB	4,18 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Conclusões

1. Os resultados evidenciaram que a sequência operacional preparo do solo - subsolagem teve menor requerimento energético, com exceção do escarificador.
2. A sequência preparo do solo 0 - subsolagem consumiu menor volume de combustível e a desagregação do solo não variou estatisticamente.

Referências

ABBASPOUR-GILANDEH, Y. *et al.* Energy savings with variable-depth tillage. **Proceedings of the 2005 Southern Conservation Tillage Systems Conference**, Florence, South Carolina, USA, 2005.

CARVALHO FILHO, A. *et al.* Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 01, p. 229-237, 2007.

COATES, W.; THACKER, G. Reduced tillage systems for irrigated cotton: energy requirements and crop response. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 13, n. 01, p. 31-34, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FERNANDES, H. C. *et al.* Avaliação operacional de um equipamento conjugado de preparo vertical com relação a desagregação do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 21, n. 02, p. 190-196, 2001.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M. da; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, n. 05, p. 1582-1587, 2008.

KICHLER, C. M. *et al.* Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, n. 071028, 2007.

MCLAUGHLIN, N. B. *et al.* Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 04, p. 1153-1163, 2008.

MICHEL JUNIOR, J. A.; FORNSTROM, K. J.; BORELLI, J. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 06, p. 1731- 1735, 1985.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Requerimento energético e desagregação do solo em diferentes sistemas de preparo periódico num Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 06, n. 04, p. 226-234, 1998.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 03, p. 378-383, 2008a.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 02, p. 256-262, 2008b.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 03, p. 870-874, 2009a.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Demanda energética na subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Revista Ciência Rural**, v. 39, n. 09, p. 2501-2505, 2009b.

SERRANO, J. M. P. R.. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 07, p. 1021-1027, 2007.