

RESISTÊNCIA ESPECÍFICA OPERACIONAL DE DISCOS PARA CORTE DE RESÍDUOS CULTURAIS EM SEMEADURA DIRETA

RAFAEL SOBROZA BECKER¹; AIRTON DOS SANTOS ALONÇO²; TIAGO RODRIGO FRANCETTO³; DAUTO PIVETTA CARPES⁴ E GESSIELI POSSEBOM⁵

Departamento de Engenharia Rural, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mails: ¹rafaelsobrozabecker@gmail.com, ²airtonalonco@gmail.com, ³tiago.francetto@ufsm.br, ⁴dautocarpes@gmail.com, ⁵gessielip@hotmail.com.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência específica operacional de discos de corte com distintas bordas de corte de resíduos culturais, em função da velocidade de deslocamento, utilizados em semeadoras-adubadoras para semeadura direta. O mesmo foi conduzido em uma área experimental na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, com textura franca. O experimento foi composto por 16 tratamentos, em um esquema fatorial de 4x4. Estes foram compostos pela interação dos diferentes discos de corte de resíduos culturais (disco de corte liso (D1); disco ondulado (D2); disco corrugado (D3) e disco ondulado helicoidal (D4)) e velocidades de deslocamento. Os dados de desempenho do trator agrícola foram adquiridos com a utilização de instrumentação eletrônica e os valores de mobilização do solo obtidos com o emprego de um microperfilômetro. A necessidade de tração por área de solo mobilizada foi menor quando utilizado o disco ondulado helicoidal, proporcionando uma redução de 40,41 %, comparado ao disco liso e em 27,56 % comparado ao disco corrugado. O disco ondulado apresentou um incremento de 32 kN m⁻² ao disco ondulado helicoidal. Indiferentemente do disco, foi observado incremento da resistência com a elevação da velocidade. Conclui-se que o disco ondulado helicoidal foi mais eficiente no uso da tração por unidade de solo mobilizado, seguido do disco ondulado.

Palavras-chaves: Ensaio de campo; Máquinas agrícolas, Relação máquina-solo, Semeadora-adubadora, Engenharia Agrícola.

SPECIFIC OPERATIONAL RESISTANCE OF CROP RESIDUE CUTTING DISCS IN NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the specific operational resistance of different cutting discs of cultural residues, as a function of displacement speed, used in no-tillage planter. The study was conducted in an experimental area at the Federal University of Santa Maria (UFSM). The soil was classified as Paleudalf, with a free texture. The experiment was composed of 16 treatments, in a 4x4 factorial scheme. These were composed by the interaction of the different crop residue cutting discs (plain flat disc (D1); wavy disc (D2), rippled disc (D3), and helical wavy disc coulter (D4)) and travel speed. The performance data of the agricultural tractor were acquired with the use of electronic instrumentation and the soil mobilization values obtained with the use of a microprofilometer. The need for traction per mobilized soil area was lower when the helical wavy disc coulter was used, providing a reduction of 40.41%, compared to the plain flat disc and 27.56% compared to the rippled disc. The wavy disc presented an increment of 32 kN m⁻² to the helical wavy disc coulter. Regardless of the disc, increase of resistance was observed with the increase of speed. It was concluded that the helical wavy disc coulter was more efficient in the use of traction per unit of mobilized soil, followed by the wavy disc.

Keywords: Field trial; Agricultural machinery; Machine-soil ratio; Planter; Agricultural Engineering.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto preconiza o cultivo em solos que apresentam um sistema de rotação de culturas, com quantidade considerável de resíduos culturais e mobilização de solo apenas na linha de semeadura. Nesse sistema, a dosagem correta e o revolvimento do solo localizado são elementos decisivos para o sucesso da produção.

Todos esses fatores são executados pelas semeadoras-adubadoras, as quais constantemente são modificadas pela indústria, onde diversos componentes produzidos ainda necessitam de estudos e aperfeiçoamento.

Assim, Alonço et al. (2006) destacou que os usuários de máquinas agrícolas enfrentam uma série de decisões relacionadas as exigências no momento da seleção, aquisição, operação e manutenção destas, o que configura a necessidade de informações credíveis que podem ser oriundas de ensaios, testes, avaliações e/ou experimentações.

A ponderação do desempenho de ferramentas de semeadoras-adubadoras nestes processos de avaliação tem por finalidade intrínseca a análise da habilidade do conjunto motomecanizado em executar a operação e a estimativa das mudanças ocorridas no solo, sendo necessário mensurar alterações qualitativas e quantitativas.

A penetração e o deslocamento de uma ferramenta no solo constituem uma ação que pode ser descrita por um comportamento composto, desde que o solo normalmente rompa-se por alguma combinação de corte, cisalhamento, compactação e fluxo (PORTELLA, 1983). Dessa forma, para Chen, Munkholm e Nyord (2013) a compreensão do comportamento destas ferramentas é de extrema importância para o desenvolvimento de mecanismos de alto desempenho.

Para se determinar a eficiência de ferramentas em uma operação de mobilização de solo, Arvidsson e Hillerström (2010) destacam que a mensuração da demanda de energia deve ser comparada com o resultado da ação destes mecanismos, sendo que isso tem sido menos realizado em comparação às medições de demanda energética.

Com isso, é possível mensurar os efeitos em uma operação, através da quantificação da demanda de energia e compará-la com os resultados da ação dos mecanismos no solo. Este produto é obtido através da divisão da força de tração demandada, pela área mobilizada, que é denominada de resistência específica operacional.

Deste modo o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência específica operacional de discos para corte de resíduos culturais com distintos perfis da borda de corte, em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator/porta-ferramentas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área experimental na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria (Estado do Rio Grande do Sul/Brasil). Como cobertura de solo foi observada a presença de resíduos vegetais da cultura do trigo (*Triticum* spp.), associada a diversas espécies de plantas daninhas, resultando na quantidade de 55,78 g m⁻² de matéria seca sobre a superfície do solo, quantificada através do método de estufa. A coleta foi realizada em uma área de 1 m² por parcela experimental, após procedeu-se a secagem em estufa elétrica com ventilação de ar forçada, ajustada a uma temperatura de 70°C.

A caracterização física do solo foi realizada por meio da coleta de amostras a campo, em profundidade de 0 a 0,20 m, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 2013). A caracterização textural realizou-se segundo o método proposto por Vettori (1969), classificando-se como franco. O grau de compactação e o teor de água ótimo para tal foi obtido através de ensaio de compactação do solo, conforme ABNT 6457 (ABNT, 1986a) e ABNT 7182 (ABNT, 1986b).

Para a mensuração da resistência à penetração do solo utilizou-se de um penetrômetro eletrônico marca Falker, modelo PLG 1020. A coleta de dados foi realizada na profundidade de 0 a 0,40 m, com aquisição de um dado a cada 0,010 m de profundidade.

Na Tabela 1 são apresentados os valores mínimos, médios e máximos das características físicas do solo.

Tabela 1. Valores mínimos, médios e máximos das características físicas do solo.

Características	Valores		
	Mín	Média	Máx
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,10	1,55	1,89
Teor de água no solo (g g^{-1})	0,10	0,15	0,21
Porcentagem de argila (%)	-	20,40	-
Porcentagem de silte (%)	-	47,90	-
Porcentagem de areia (%)	-	31,70	-
Resistência à penetração (kPa)	-	1.591,4	-
Grau de compactação (g cm^{-3})	-	1,69	-
Teor de água ótimo (g g^{-1})	-	0,18	-

Nota: Mín: mínimo; Máx: máximo.

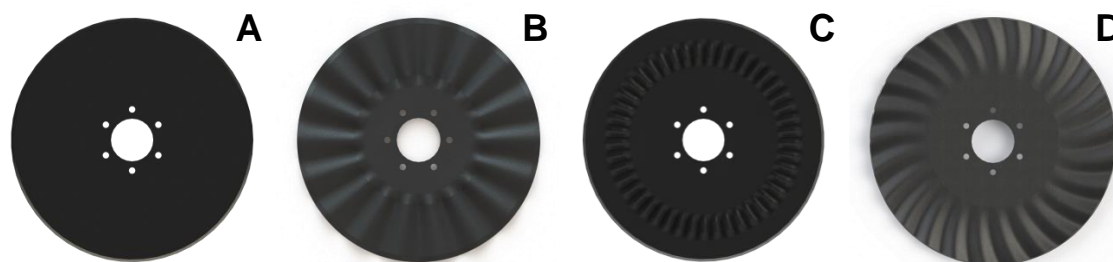
O experimento foi constituído pela interação de dois fatores, os quais foram: mecanismos de corte de resíduos culturais (Fator 1, com 4 níveis) e pela velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado (Fator 2, com 4 níveis). O primeiro foi composto por quatro discos de corte de

resíduos culturais, sendo eles: disco de corte liso (DL); disco ondulado (DO); disco corrugado (DC) e disco ondulado helicoidal (DH) conforme caracterizado na Tabela 2 e ilustrado na Figura 1. Já o segundo fator foi composto pelas velocidades de deslocamento de 1,11, 1,67, 2,22 e 2,78 m s^{-1} .

Tabela 2. Características dos discos de corte de resíduos culturais.

Descrição	Especificação			
	DL	DO	DC	DH
Diâmetro (m)	0,46	0,45	0,46	0,46
Espessura (m)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
Número de ondas	-	18	45	25
Distância entre ondas (m)	-	0,077	0,049	0,023
Profundidade de corte (m)	0,06	0,06	0,06	0,06
Área de contato (m^2)	0,1520	0,1572	0,1591	0,1652

Figura 1. Discos de corte de resíduos culturais utilizados.



Nota: Disco de corte liso (A); disco ondulado (B); disco corrugado (C) e disco ondulado helicoidal (D).

Para acoplamento dos órgãos ativos utilizou-se uma estrutura porta-ferramentas

móvel (EPF) projetada e construída por Gassen (2011), tendo como fonte de potência um trator

agrícola de pneus com 42,7 kW (58 cv) de potência a 2.300 rpm e massa total de 2.300 kg. O mesmo estava equipado com pneus dianteiros diagonais e direcionais F2, 7.50-16 com pressão interna de 206 kPa e pneus traseiros motrizes diagonais R2, 14.9-28 com pressão interna de 138 kPa.

Para a aquisição e armazenamento dos dados coletados pelos dispositivos eletrônicos, utilizou-se um módulo de medição e controle (datalogger) marca Campbell Scientific modelo CR1000.

A determinação da força de tração fez-se com o uso de um transdutor de carga (célula de carga) do tipo S, instalado entre o jumelo de engate do porta-ferramentas e a barra de tração do trator em um suporte retrátil. O implemento demandou uma força para seu funcionamento, denominada resistência ao rolamento, e esta foi medida pela célula de carga, através de sinais elétricos emitidos de acordo com a intensidade e descontados do valor final.

A força de tração média foi determinada com base na Equação 1, utilizando os dados da força de tração instantânea e da resistência ao rolamento.

$$F_t = F_i - R_r \quad (1)$$

Em que,

F_t - força de tração média (kN)

F_i - força de tração instantânea (kN)

R_r - resistência ao rolamento (kN)

As variáveis de mobilização de solo foram determinadas com a utilização de um microperfilômetro para obtenção dos perfis de solo. Esses foram realizados para cada repetição em duas fases, sendo elas: obtenção do perfil natural e de mobilização (após a remoção manual do solo no sulco). Os perfis foram demarcados em papel A2 milimetrado, foram fotografados posteriormente em posição fixa (x, y e z) e inseridos no programa computacional Auto Cad (escala 1:1) objetivando traçar as linhas de contorno dos perfis e por fim, obter a área de mobilização de solo.

A determinação da resistência específica operacional se deu com a utilização da Equação 3, empregando os dados da força de tração e de área de solo mobilizada.

$$Re_o = \frac{F_t}{A_m} \quad (2)$$

Em que,

Re_o - resistência específica operacional (kN m⁻²)

F_t - força de tração média (kN)

A_m - área de solo mobilizada (m²)

Após a aquisição dos dados, foram testadas a normalidade dos erros e a homogeneidade de variâncias, através do teste de Kolmogorov-Smirnov, para a primeira, e Cochran, para a segunda, ambos através do emprego do software SISVAR, versão 5.3 beta. Posteriormente, realizou-se a análise estatística de variância e a verificação da significância dos fatores através do teste F. Para diferenciação entre tratamentos foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias. A análise de variância (ANOVA) da variável, com suas respectivas médias, níveis e os resultados do teste F, são apresentados na Tabela 3.

Não ocorreu interação entre os fatores disco de corte e velocidade de deslocamento sobre a variável resistência específica operacional, mas quando avaliados separadamente, estes influenciam significativamente. Portanto, procedeu-se a análise de comparação de médias para o fator (F1) e análise de regressão para o fator (F2).

A variável resistência específica operacional apresentou um coeficiente de variação de 37,50%. Esse valor elevado pode ser atrelado à variabilidade das características físicas do solo que compõe a área utilizada no experimento, afetando diretamente a área mobilizada de solo.

Tabela 3. Análise de variância com as médias do fator qualitativo, seus níveis e os resultados do teste F.

Fatores	Variável
	Reo (kN m ⁻²)
DISCOS DE CORTE	
Disco ondulado helicoidal (DH)	363,76 a
Disco ondulado (DO)	395,76 a
Disco corrugado (DC)	502,16 ab
Disco liso (DL)	611,07 b
CV e MG	
Coefficiente de variação (CV) (%)	37,50
Média geral (MG)	468,19
Teste F	
Disco de corte (F1)	4,89*
Velocidade (F2)	4,66*
F1 x F2	1,62 ns

Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Tukey ($p < 0,005$)
 ns: não significativo ($p > 0,05$); *: significativo ($p < 0,05$); Reo: Resistência específica operacional.

A necessidade de tração por área de solo mobilizada foi menor quando utilizado o disco ondulado helicoidal (DH), proporcionando uma redução de 40,47%, comparado ao disco liso e em 27,56 % comparado ao disco corrugado. O disco ondulado apresentou um incremento de 32 kN m⁻² ao disco ondulado helicoidal.

Os discos de corte promovem efeitos diferenciados, devido às suas disposições construtivas. Os menores valores de resistência específica foram obtidos ao utilizar o disco com maior superfície de contato com o solo (DH e DO). Essa premissa somente não é válida para o disco corrugado, pois, apesar de apresentar elevada área de contato, o formato da borda do mesmo não proporciona grande movimentação do solo em função da superfície próxima ao fio ser plana e a ondulação presente visar reduzir brevemente a compactação das laterais do sulco (“espelhamento”).

O ângulo da onda presente no disco ondulado helicoidal favorece a penetração vertical do mesmo ao solo, com isso, ocorre uma menor demanda de tração associada à manutenção da área mobilizada, a qual influencia significativamente na resistência específica operacional.

Os resultados obtidos neste experimento corroboram com Silva et al. (2012), que indicam que os discos ondulados e lisos, geralmente aumentam a mobilização do solo do leito de

semeadura, sendo que o efeito do primeiro é mais significativo. Mion et al. (2009), confirmam essa afirmativa, pois encontraram diferenças significativas na movimentação do solo por esses mecanismos.

Por outro lado, Silva et al. (2012) e Francetto et al. (2015), ao avaliarem mecanismos de corte de palha, comprovaram que os discos ondulados necessitam de maior força horizontal para vencer a resistência do solo em comparação ao disco liso, possivelmente em virtude do formato do disco, e por sua ação dinâmica no solo e área de contato serem diferentes.

Através destas relações de força de tração e área mobilizada, é possível estabelecer que o incremento da resistência específica para o disco liso ocorre, pois, o uso de discos com bordas que proporcionam redução da área de contato com o solo, provocaram uma ampla redução dos valores de área mobilizada.

O incremento da velocidade propiciou aumento significativo sobre a resistência específica operacional, ilustrado na Figura 2, corroborando com os dados obtidos por Francetto et al. (2016b) ao estudar elementos sulcadores de fertilizantes. Isso pode ser explicado em virtude da maior demanda de tração requerida pelos discos nas velocidades mais elevadas, já que não houve incremento da área mobilizada com o acréscimo da velocidade.

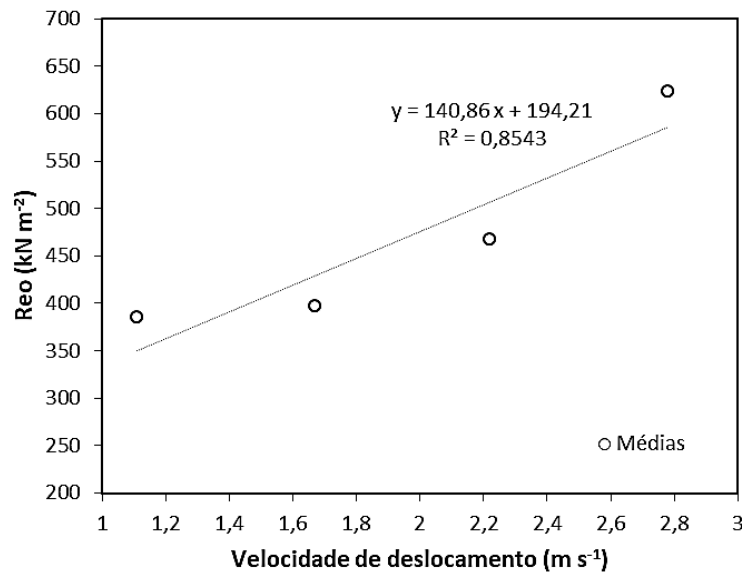
Esse efeito pode estar associado à consistência friável do solo no momento do experimento, confirmando os resultados encontrados por Casão Junior, Araújo e Ralisch (2000), que não observaram aumento da área de perturbação do solo apenas nessa condição de umidade.

Também, é verificado nos estudos de Bellé et al. (2014) e Gassen et al. (2014), ao avaliarem hastes para escarificação, onde a não influência do incremento da velocidade sobre a

mobilização do solo, igualmente comprovado por Francetto et al. (2016a) ao avaliar a mobilização de solo por sulcadores e discos de corte.

Esse fato ocorre, pois a mobilização do solo depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da ferramenta como afirmam Spoor e Godwin (1978) e Chen, Munkholm e Nyord (2013), além da umidade e da densidade do solo.

Figura 2. Valores médios de resistência específica operacional dos discos de corte para cada velocidade de deslocamento.



A função ajustada na análise de regressão para o fator quantitativo foi do tipo linear, apresentando um coeficiente de determinação de 85,43%. Para todos os discos de corte, a velocidade de deslocamento não influencia significativamente na área de solo mobilizada, mas devido às forças horizontais para suprir a resistência proposta pelo solo, ocorre incremento dos valores de resistência específica, que poderão ser obtidos pela função observada na figura 2.

4 CONCLUSÕES

A resistência específica operacional aumenta com a ampliação da velocidade de deslocamento devido ao incremento da força de tração associado a manutenção da área de solo mobilizada.

O disco ondulado helicoidal foi mais eficiente no uso da tração por unidade de solo mobilizado, seguido do disco ondulado.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro ao projeto.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Ensaio normal de compactação de solos**. Rio de Janeiro, 1986b.

ALONÇO, A. S.; MARINI, V. K.; MASSOCO, D. B.; PINHEIRO, E. D. Avaliação técnica de uma máquina para a correção de microrrelevo do solo de áreas destinadas ao cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1643-1646, 2006.

ARVIDSSON, J.; HILLERSTRÖM, O. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 154-160, 2010.

BELLÉ, M. P.; ALONÇO, A. S.; FRANCETTO, T. R.; ROSSATO, F. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 551-558, 2014.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 523-532, 2000.

CHEN, Y.; MUNKHOLM, L. J.; NYORD, T. Selection of design parameters for a slurry injection tool. **Transactions of the ASABE**, Michigan, v. 56, p. 1653-1663, 2013.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 542-554, 2015.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BRANDELERO, C.; MACHADO, O. D. C.; VEIT, A. A.; CARPES, D. P. Disturbance of Ultisol soil based on interactions between furrow openers and coulters for the no-tillage system. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 14, p. e0208, 2016a.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. C.; BECKER, R. S.; BRANDELERO, C. Specific demands of the traction of cutting discs and furrow openers for the no-tillage system. **Australian Journal of Crop Science**, Southern Cross, v. 10, p. 1040-1046, 2016b.

GASSEN, J. R. F. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GASSEN, J. R. F.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U. B.; BELLÉ, M. P.; BONOTTO, G. J. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 116-124, 2014.

PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar de forças atuantes de elementos rompedores de semeadoras comerciais**. 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1983.

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H.; JASPER, S. P.; SEKI, A. S.; MASIERO, F. C.; RIQUETTI, N. B. Semeadora-adubadora: Mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 1367-1373, 2012.

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.

VETTORI, L. **Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: EPFS 24, 1969.