

## DESEMPENHO DE UM ESCARIFICADOR COM DOIS TIPOS DE PONTEIRAS E TRÊS ESPAÇAMENTOS ENTRE HASTES

*PERFORMANCE OF AN ESCARIFIER WITH TWO TYPES OF TIPS AND THREE SPACINGS BETWEEN RODS*

**João Carlos dos Santos<sup>1</sup>, Fernando Cartaxo Rolim Neto<sup>2</sup>, José Machado Coelho Junior<sup>3</sup>, Ricardo Andrade Wanderley<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, Técnico Administrativo do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: joaosantos\_ita@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Doutor em Agronomia, Professor da Área de Geotecnologias do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: fernandocartaxo@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Doutor em Geografia, Professor da Área de Geotecnologias do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: josemachado@ufrpe.br

<sup>4</sup>Mestre em Agronomia, Técnico Administrativo do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: ricardo.dtr.ufrpe@gmail.com.

### RESUMO

Existe uma necessidade crítica para estimar os requerimentos de energia do implemento como parte da avaliação de um sistema de cultivo. O conhecimento dos requerimentos de potência do conjunto trator/equipamento é necessário para a redução do custo de produção. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de um escarificador em função de dois tipos de ponteiras (alada e estreita) e três espaçamentos (180, 305 e 355 mm) entre hastes, em função de alguns atributos de um Latossolo. O delineamento experimental utilizado foi de Blocos casuais, com arranjo fatorial 3 por 2. O trabalho foi realizado num campo experimental da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Foi utilizado um escarificador de arrasto, traciona-se por um trator de pneus. Para o parâmetro área da seção mobilizada, a ponteira estreita teve média inferior à ponteira alada, ao nível de 1% de probabilidade. Para o parâmetro área da seção mobilizada, a média para o espaçamento de 180 mm foi inferior às médias para os espaçamentos de 305 e 355 mm, ao nível de 1% de probabilidade. A ponteira alada apresentou eficiência energética superior à ponteira estreita, pois com mesmo número de hastes foi trabalhada uma área maior de solo, utilizando-se quantidade de energia semelhante.

**Palavras chave:** mecanização agrícola, resistência do solo à penetração, manejo do solo, força de tração.

### ABSTRACT

There is a critical need to estimate the energy requirements of the implement as part of the evaluation of a cropping system. The knowledge of the power requirements of the tractor/equipment is necessary to reduce the production cost. This study aimed to evaluate the performance of a chisel, according to two types of dropouts (winged and narrow) and three spaces (180, 305 and 355 mm) of stems, depending on some attributes of a Latosol. The experimental design was Randomized blocks with 3 by 2 factorial arrangement. The study was conducted in a field trial at the State University of Campinas, Campinas, SP. It was used a chisel trowl being pulled by a tractor with tires. To the mobilized sectional area parameter, the narrow dropout showed an average less than that to winged tip, at level of 1% of probability. Considering the spacings related to the mobilized sectional area, the average to 180 mm was less than the averages to the spaces of 305 and 355 mm, at level of 1% of probability. The winged dropout showed an energetic efficiency higher than that to the narrow, because with the same number of stems, worked up a larger area of soil, using similar amount of energy.

**Keywords:** Agricultural mechanization, soil penetration resistance, soil management, traction force.

### 1 – INTRODUÇÃO

Produtores agrícolas frequentemente enfrentam o problema dos aumentos nos custos de produção e da oscilação nos preços do mercado. Embora eles não possam controlar muitas das variáveis que influenciam esses custos, a exemplo dos preços de insumos agrícolas, existem outras que podem ser controladas e aperfeiçoadas. É o caso da operação e manejo de equipamentos, especialmente em tratores e equipamentos. Isto tem estimulado o interesse na seleção adequada de sistemas de operação trator/equipamento que apresente melhor eficiência energética e menor degradação do solo.

As ações do manejo do solo devem ser muito bem planejadas, pois seus efeitos são responsáveis pela sustentabilidade do sistema. A semeadura direta (SD) minimizou uma série de problemas ligados a processos erosivos, porém exigiu uma reconfiguração das semeadoras agrícolas, tornou-as robustas e com órgãos ativos capazes de romper camadas compactadas de solo. Devido à necessidade do aumento da capacidade operacional de trabalho, geraram uma elevação no tamanho e peso da frota dos tratores agrícolas, contribuindo para o aumento da compactação no solo, aumento do consumo de combustível, redução da vida útil dos mecanismos ativos do trator e da semeadora e maior

desgaste de mecanismos sulcadores. Sob óptica agrônômica, tal problema gera aumento da densidade do solo, redução da profundidade do sistema radicular, redução da infiltração da água no solo, aumento da temperatura e outros problemas que refletem na redução da produtividade da cultura (ROSA, 2007).

Stone, Guimarães, Moreira (2002), ao tentarem determinar os impedimentos físicos dos solos, observaram que a resistência do solo à penetração é um atributo muito empregado para estimar a compactação, bem como localizar camadas do solo compactadas. Estes mesmos autores utilizaram a resistência do solo à penetração como atributo físico para avaliar a qualidade física do solo, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação.

O preparo reduzido com uso do escarificador, quando usado adequadamente, pode permitir maior capacidade de retenção de água no solo e menores perdas por erosão, deixando desta forma, mais água disponível para as plantas do que no sistema tradicional (MIRANDA, 1986).

Roth e Meyer (1983), ao estudarem infiltração de água no solo para plantio direto, preparo reduzido com escarificador e preparo tradicional, observaram que para as taxas médias de infiltração, a escarificação obteve taxa intermediária entre os outros dois sistemas de preparo. De acordo com (SILVEIRA, 1988) o preparo reduzido com uso do escarificador provoca um mínimo de mobilização e deixa o máximo possível de resíduos na superfície, garantindo melhor movimentação e retenção de água, melhor estrutura do solo, maior porosidade e maiores conteúdo e distribuição da matéria orgânica.

Os escarificadores são utilizados para trabalhar na camada superficial do solo, até um máximo de 25 a 30 cm. São implementos de vários braços estreitos e pontiagudos, distribuídos estrategicamente em vários corpos numa armação de ferro. São utilizados para o preparo primário do solo, com o objetivo de eliminar plantas invasoras e revolver o solo a fim de se conseguir condições favoráveis à semeadura (DERPSCH *et al.*, 1982; SILVEIRA, 1988). Segundo Ortiz-Caslavate (1980) os escarificadores são “mais rápidos” que os subsoladores, distinguindo-se o tipo cinzel, que trabalha a profundidades análogas aos arados de aivecas, revolvendo sem inverter o solo. Escarificadores são eficientes para o uso em preparo conservacionista possibilitando espaçamentos ajustáveis das hastes, a mais de 30,0 cm, o que possibilita o uso de ferramentas mais espaçadas e a maiores profundidades de trabalho (WARD, 1986).

Spoor e Godwin (1978) trabalharam com ferramentas de hastes rígidas e concluíram que existe uma profundidade máxima de trabalho para cada tipo de haste, denominada “profundidade crítica”, a partir da qual poderá ocorrer mais compactação e menos mobilização do solo, além de provocar um aumento significativo da resistência específica do solo. A profundidade crítica é influenciada pela geometria da ferramenta e pelas condições do solo. Os autores recomendaram também espaçamento entre hastes variando entre 1,0 a 1,5 vezes a profundidade de trabalho para hastes com ponteiros não aladas e 1,5 a 2,0 vezes para hastes com ponteiros aladas; nas montagens com hastes

superficiais posicionadas a frente de hastes profundas a relação pôde chegar até 2,5.

Trabalhando com formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidades de deslocamento em um subsolador, Lanças (1987) concluiu que as ponteiros aladas mostraram melhor conversão energética em relação às sem asas, apresentou menor consumo específico operacional, apesar de requerer maiores valores de força de tração, potência na barra e quantidade de combustível. Este mesmo autor encontrou que as ponteiros aladas apresentaram maiores elevações do solo, mesmo operando com profundidades de trabalho menores que as ponteiros sem asas. Lanças (1987) também concluiu que a força de tração cresceu com o aumento da velocidade, independentemente do tipo de haste e de ponteira, é a haste parabólica a que apresentou melhor desempenho.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um escarificador por meio de requerimentos de força, potência e energia sobre atributos de um Latossolo.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Campo Experimental do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas da Universidade Estadual de Campinas, Estado de São Paulo. O local apresenta relevo plano tendo a área sido roçada apenas periodicamente.

### 2.1 Solo utilizado

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro, de textura argilosa. Amostras do solo foram retiradas antes do experimento de campo para determinação de suas características físicas (Tabela 1), no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

Tabela 1 – Características físicas do solo utilizado no experimento

Características	Profundidade de 0 a 20 cm
Areia grossa (%)	9,83
Areia fina (%)	13,67
Areia muito fina (%)	11,46
Silte (%)	6,00
Argila (%)	59,04
Teor de água do solo (%)	22,61
Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	1,41
Densidade de partículas (g/cm <sup>3</sup> )	2,83
Volume de poros totais (%)	50,20
Resistência do solo à penetração (Kgf/cm <sup>2</sup> )	31,10
Coesão do solo (kpa)*	0,32
Ângulo de atrito interno (graus)*	20

\* Valores obtidos de Souza (1989), que trabalhou na mesma área.

### 2.2 Equipamentos utilizados

Foi utilizado um trator com 55 KW de potência e tração nas rodas traseiras, equipado com pneus 18,4 por 15,

30, para tracionar o escarificador. Toda instrumentação utilizada na medição da força de tração foi montada numa estrutura porta instrumentos, fixada na parte traseira do trator, atrás do assento do tratorista. O trator trabalhou numa rotação nominal de 1.800 rpm, na 4ª marcha reduzida, numa velocidade média teórica de 4,31 Km/h.

Foi utilizado um escarificador de arrasto com controle hidráulico de profundidade, com as seguintes características: 7 hastes semirrígidas de 355,6 mm; largura de trabalho de até 2,45 m; espaçamento entre hastes de até 355,0 mm; regulagem de profundidade de até 350,0 mm; e ponteira de ponta dupla. Devido a limitações na estrutura porta ferramentas, só foi possível combinar 5 hastes e 3 espaçamentos equidistantes. A profundidade teórica de trabalho foi 0,20 m.

Foram usados dois tipos de ponteiros, uma estreita (tipo cinzel), comercial, com ponta dupla com 76,2 mm de largura, fazendo parte do conjunto do implemento. A outra foi um protótipo, alada, construída no Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

A ponteira construída teve algumas de suas características copiadas e outras baseadas na literatura, como descritas a seguir:

- Largura da ponta igual a 76,2 mm (adotada, igual à largura da ponteira comercial);
- Envergadura da asa igual a 152,4 mm (adotado o dobro da largura da ponteira comercial);
- Ângulo de ataque da ponta igual a 23° (adotado entre a faixa que menos afeta a força de tração de 20 a 50° de acordo com Payne e Tanner (1959);
- Ângulo de ataque da asa igual a 25°, de acordo com Spoor e Godwin (1978) e Souza (1989);
- Ângulo de envergadura da asa igual a 15°, de acordo com SOUZA (1989);
- Ângulo de abertura (varredura) igual a 120°, adotado de acordo com Spoor e Godwin (1978).

### 2.3 Análises estatísticas

Foram utilizados seis tratamentos obtidos pela combinação de três espaçamentos entre hastes e dois tipos de ponteiros. Os espaçamentos entre hastes foram os seguintes: E1 = 180,0 mm; E2 = 305,0 mm; E3 = 355,0 mm.

Para os dois tipos de ponteiros utilizadas, adotou-se a nomenclatura P1 para a ponteira estreita com ponta dupla, e P2 para a do tipo alada. Da combinação entre os espaçamentos e os dois tipos de ponteiros, resultaram os seguintes tratamentos: T1 = P1E1; T2 = P1E2; T3 = P1E3; T4 = P2E1; T5 = P2E2; T6 = P2E3.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com arranjo fatorial 3 por 2. A unidade experimental ou parcela constou de uma superfície com 150 m<sup>2</sup> possuindo dimensões de 3,0 por 50,0 m, totalizando 6 tratamentos por bloco, com 4 blocos de 900 m<sup>2</sup> de área útil, na qual foram estudados os fatores ponteira (alada e estreita) e espaçamento (180,0; 305,0 e 355,0 mm). Foi deixado um espaço com aproximadamente 15 m de comprimento, no início e no final das parcelas, para que o conjunto atingisse o regime operacional desejado e

facilitando as manobras.

As análises estatísticas foram efetuadas para cada parâmetro, por meio de do método de análise de variância, adequado ao delineamento de blocos casualizados, de acordo com o esquema de análise de variância proposto por Steel e Torrie (1960) e Gomes (1987). A análise de variância foi complementada pela análise de regressão polinomial, para o fator espaçamento, por ser um fator quantitativo (GOMES, 1987).

Em relação aos fatores ponteira e espaçamento, os dados experimentais foram obtidos direta ou indiretamente para os seguintes parâmetros: atributos do solo (área de seção mobilizada de solo, área de elevação e empolamento; diâmetro médio geométrico; rugosidade superficial do solo) e atributos do conjunto trator/escarificador -(velocidade de deslocamento; incorporação de resíduos vegetais ao solo; força média de tração; resistência específica; potência média na barra de tração; energia média requerida e energia média requerida por volume de solo mobilizado) de acordo com metodologias descritas a seguir.

### 2.4 Área da seção mobilizada de solo, área de elevação e empolamento

Tanto a área da seção mobilizada (perfil mobilizado) quanto a área de elevação do solo, foram obtidas utilizando-se o método de Simpson.

$$A = \frac{h}{3} \cdot (y_0 + y_n + 4 \cdot y_i + 2 \cdot y_p)$$

Em que: A = área (m<sup>2</sup>); h= distância entre as hastes do perfilômetro (m); y<sub>0</sub>= primeira leitura (m); y<sub>n</sub> = última leitura (m); y<sub>i</sub> = leituras ímpares (m); y<sub>p</sub> = leituras pares (m).

Para a determinação das áreas da seção mobilizada e área de elevação foram obtidas 75 leituras, no início e no meio de cada parcela, antes e após a passagem do implemento, e também na subsuperfície, com a remoção manual do solo solto. As leituras verticais foram obtidas com auxílio do perfilômetro citado anteriormente, colocado em posição pré-definida, entre piquetes.

Para obtenção da seção mobilizada, foram subtraídas das cotas de subsuperfície, as cotas obtidas antes da passagem do implemento e, após este procedimento, foi aplicado o método de Simpson. Para obtenção da área de elevação também foi aplicado o método de Simpson, utilizando-se os valores absolutos da diferença entre as cotas obtidas, antes e após o preparo do solo. O empolamento dá ideia da expansão volumétrica do solo, com redução na densidade do solo, após sua mobilização. Para obtenção do empolamento utilizou-se a seguinte equação, citada por Klein (1990).

$$Emp = \frac{(Ae)}{Am} \cdot 100$$

Em que: Emp = empolamento (%); Ae = área de elevação do solo (m<sup>2</sup>); Am = área da seção mobilizada no

solo (m<sup>2</sup>)

Os valores da área de seção mobilizada no solo foram obtidos utilizando-se o método de Simpson e as cotas (leituras das hastes) determinadas com auxílio do perfilômetro, em posição pré-definida. A sub-superfície do solo foi obtida com a remoção do solo solto após a passagem do implemento.

## 2.5 Diâmetro médio geométrico

A distribuição de agregados foi obtida por via seca, de acordo com a metodologia proposta por Gamero (1989). Foi retirada uma amostra de solo, no centro de cada parcela, cravando-se uma caixa metálica com dimensões de 30 cm por 30 cm por 20 cm de altura. As amostras foram postas para secar em estufa a 105 °C por 24 horas. Em seguida elas foram passadas num jogo de peneiras com abertura de malhas em milímetros: 101,60; 76,20; 50,80; 25,40; 19,05; 12,70; 5,35; 3,36; 1,68. Procedeu-se a pesagem dos agregados retidos por cada classe de tamanho de peneira. As classes de tamanho, em milímetros foram: 127,00 – 101,60; 101,60 – 76,20; 76,20 – 50,80; 50,80 – 25,40; 25,40 – 19,05; 19,05 – 12,70; 12,70 – 6,35; 6,35 – 3,36; 3,36 – 1,68; 1,68 – 0,00.

$$DMG = \text{antlog} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \log d_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right)$$

Em que: DMG = diâmetro médio geométrico (mm);  $W_i$  = peso do material retido em cada classe de tamanho;  $d_i$  = tamanho médio da classe (mm).

## 2.6 Rugosidade superficial do solo

O índice de rugosidade superficial do solo foi obtido pelo método proposto por Allmaras *et al.* (1966) usando-se a seguinte equação:

$$\sigma_y = \hat{a} \cdot \sigma_x$$

Em que:  $\sigma$  = estimativa de rugosidade superficial representada pelo erro padrão entre as alturas;  $\sigma_x$  = erro padrão entre os logaritmos das alturas;  $\hat{a}$  = média das alturas (mm).

As leituras foram obtidas com uso de um perfilômetro, de acordo com Souza (1989), e existente no Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI, UNICAMP. Este equipamento constituiu-se de 40 hastes cilíndricas de alumínio, com 1,27 cm de diâmetro e 110 cm de comprimento, espaçadas de 3,5 cm, montadas em uma estrutura de alumínio com largura total de 152 cm. Foram feitas 160 leituras por metro quadrado de área, no meio da parcela, antes e após a passagem do implemento. O perfilômetro foi colocado em local previamente demarcado com piquetes.

## 2.7 Velocidade de deslocamento

A velocidade média de deslocamento do conjunto

trator/equipamento foi determinada indiretamente por meio de da relação entre comprimento da parcela (50 metros) e a cronometragem do tempo, pela seguinte equação:

$$V_m = \frac{L_p}{t}$$

Em que:  $V_m$  = velocidade média (m/s);  $L_p$  = comprimento da parcela (m);  $t$  = tempo de percurso (s).

Para a cronometragem do tempo foi utilizado um cronômetro e para a marcação da parcela utilizou-se uma trena de 50 m e duas balizas.

## 2.8 Incorporação de resíduos vegetais ao solo

Para a determinação da incorporação de resíduos vegetais ao solo utilizou-se a metodologia proposta por Laflen, Mamemiya, Hintz (1981), com algumas adaptações. A instrumentação empregada foi constituída por uma trena de 50 m, marcada com fita crepe a cada 20 cm até 20 m de comprimento. Cada um destes pontos marcados representava um ponto de leitura, resultando em 100 pontos. A parcela foi dividida em duas partes e a trena foi esticada na diagonal de cada metade da parcela, totalizou-se 2 leituras por parcela. A percentagem de resíduos vegetais sobre o solo foi determinada, portanto, pelo número de marcas da trena coincidentes com o resíduo vegetal sobre o solo. Foram feitas determinações antes e após o preparo do solo, com objetivo de verificar a percentagem de incorporação de resíduos vegetais ao solo. Os dados de incorporação de resíduos vegetais foram transformados pelo  $\arcsin(x_{i-100})$ , por se tratar de percentagem originada de variáveis discretas.

## 2.9 Força média de tração

Para esta finalidade uma célula de carga foi instalada entre a barra de tração do trator e o cabeçalho do escarificador. Foram determinados valores de forças para cada parcela. As medições de forças foram obtidas utilizou-se a curva de calibração da célula de carga, para cada leitura, com a utilização de um programa de computador.

Para aquisição dos dados de força de tração exigida pelo escarificador foram utilizados os seguintes equipamentos: fonte de alimentação; célula de carga axial; condicionador de sinais; gravador de sinais; conversor de sinais analógicos/digital e um microcomputador.

## 2.10 Resistência específica

A resistência específica dá ideia da força requerida em função da área mobilizada do solo, pela ferramenta utilizada nesta mobilização, por meio de da seguinte fórmula:

$$Re = \frac{F_m}{A_m}$$

Em que:  $Re$  = resistência específica ( $N/m^2$ );  $Fm$  = força de tração média na barra (N);  $Am$  = área média da seção mobilizada ( $m^2$ ).

### 2.11 Potência média na barra de tração

A potência média na barra de tração foi determinada indiretamente por meio de do produto da força de tração média pela velocidade média do conjunto trator/implemento, por meio de da seguinte fórmula:

$$Pb = \frac{Fm \cdot Vm}{1000}$$

Em que:  $Pb$  = potência média na barra (KW);  $Fm$  = força de tração média na barra (N);  $Vm$  = velocidade média (m/s).

### 2.12 Energia média requerida e energia média requerida por volume de solo mobilizado

Com a área média da seção mobilizada de solo obtida com auxílio do perfilômetro e o comprimento útil da parcela, foi possível se obter o volume médio de solo mobilizado, como mostra a fórmula seguinte.

$$B = Am \cdot Lp$$

Em que:  $B$  = volume médio de solo mobilizado ( $m^3$ );  $Am$  = área média da seção mobilizada ( $m^2$ );  $Lp$  = comprimento da parcela (m).

#### a) Cálculo da energia média requerida ( $Ec$ ).

A partir do conceito que Energia é a capacidade de um corpo realizar trabalho, tem-se:  $T = F \cdot L \cdot \cos\theta$ ; em que:  $T$  = trabalho ( $N \cdot m$ );  $F$  = força (N);  $L$  = Comprimento do percurso (m);  $\theta$  = ângulo entre a força e o deslocamento (grau);

Como a força média na barra de tração é aplicada na mesma direção do deslocamento, então  $\theta = 0^\circ$ , logo  $\cos\theta = 1$ ;

Tem-se:  $T = F \cdot L$

Desta forma, para este estudo a energia requerida é uma função do trabalho realizado, como se observa a seguir:

$$E = T = F \cdot L = Fm \cdot Lp$$

No cálculo da energia requerida foi utilizada a força média de tração na barra, obtida durante o deslocamento do conjunto na parcela (50 m), faixa na qual o implemento apresenta regime operacional satisfatório.

#### b) Energia média requerida por volume médio de solo mobilizado.

$$Ev = \frac{Fm \cdot Lp}{B}$$

Em que:  $Ev$  = energia média requerida por volume de solo mobilizado ( $J/m^3$ );  $Lp$  = comprimento da parcela (m);  $B$  = volume médio de solo mobilizado ( $m^3$ ).

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir demonstram os resultados estatísticos da área da seção mobilizada, área de elevação, empolamento, diâmetro médio geométrico, rugosidade superficial do solo, velocidade do deslocamento, incorporação de resíduos vegetais ao solo, força média de tração, resistência específica, resistência média na barra de tração, energia média requerida e energia média requerida por volume de solo mobilizado ao teste de Tukey em nível de 1%

### 3.1 Área da seção mobilizada, área de elevação e empolamento

Para área da seção mobilizada, verificou-se estatisticamente, de acordo com a Tabela 2, que houve diferença significativa em nível de 1%, tanto para ponteiros como para espaçamento. Em relação aos dados da Área de elevação, constatou-se que houve diferença significativa em nível de 1%, apenas para espaçamentos entre hastes.

Constatou-se, por meio de da análise de variância, que não houve diferença significativa para o empolamento tanto para ponteira como para espaçamento (Tabela 2). A média geral obtida para empolamento foi de 45,56%, é bem superior às médias obtidas por (Klein, 1990), quando utilizou 4 modelos de hastes escarificadoras.

Tabela 2 – Valores médios para ponteiros e espaçamentos, em relação à área da seção mobilizada (SM), área de elevação (AE), empolamento (E), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de rugosidade superficial do solo (IRSS)

Ponteira	SM ( $m^2$ )	AE ( $m^2$ )	E(%)	DMG (mm)	IRSS (mm)
P1	0,187912	0,085548	46,98	12,28	2,55
	b	a	a	a	a
P2	0,210441	0,092549	44,15	14,75	2,82
	a	a	a	a	a
F	9,98*	ns	0,65	0,91	4,02
			ns	ns	ns
C.V.(%)	----	---	18,90	46,95	12,51
Espaçamento					
E1	0,156470	0,075295b	48,93	6,71 b	2,63
	b		a		a
E2	0,213284	0,092383	43,72	13,14	2,91
	a	ab	a	ab	a
E3	0,227766	0,099469	44,04	20,71	2,52
	a	a	a	a	a
Função	Quadrát.*	Quadrát.*	ns	linear*	ns
C.V.(%)	8,77	14,65	18,90	46,95	12,51

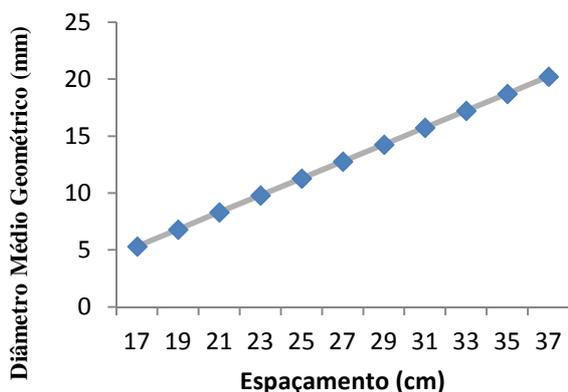
\* = significativo ao nível ( $p < 0,01$ ) pelo teste de F; ns = não significativo ao nível ( $p > 0,05$ ) pelo teste de F; a, b = tratamentos com letras iguais não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

### 3.2 Diâmetro médio geométrico

Verificou-se que para ponteira não houve diferença estatística significativa. Já em relação aos espaçamentos entre hastes, ocorreu diferença estatística ao nível de 1% de probabilidade, conforme mostrado nas Tabela 2 e Figura 1.

A média do diâmetro médio geométrico com relação ao espaçamento E2 foi 13,14 mm, próximo ao valor 13,10 mm obtido por Miranda (1986), quando utilizou escarificador com 9 ponteiras tipo cinzel, espaçada de 20,0 cm, em Latossolo Vermelho Escuro. Já o valor médio observado para o espaçamento E3 foi 20,71 mm. Este valor foi próximo aos 20,04 mm obtidos por Gamero (1989) quando utilizou escarificador com 10 hastes espaçadas em 25,0 cm e 26,8 cm de profundidades, com rolo destorroador, em Latossolo Roxo álico de textura média argilosa. Os valores, deste trabalho foram bem inferiores aos valores obtidos de por Klein (1990), os quais variaram entre 27,34 e 37,35 mm, quando este autor trabalhou com modelos de hastes escarificadoras em Latossolo Vermelho Escuro.

Figura 1 – Gráfico para equação polinomial do parâmetro diâmetro médio geométrico



O diâmetro médio geométrico apresentou coeficiente de variação igual a 46,95%, próximo ao valor de 53,85% obtido por Gamero (1989), quando utilizou a mesma metodologia.

### 3.3 Rugosidade superficial do solo

Por meio de análise dos dados de rugosidade superficial do solo, verificou-se que não houve diferença significativa, tanto para as ponteiras como para os espaçamentos entre hastes (Tabela 2). A média geral obtida para o índice de rugosidade superficial foi de 2,68 mm, ficou-se próxima as médias de 5,28 e 4,31 mm obtidas por Dallmeyer (1989), quando utilizou escarificador com rolo destorroador de dentes e escarificador seguido de grade leve, respectivamente. O valor obtido neste trabalho foi bem inferior ao valor de 15,50 mm obtido por Miranda (1986), quando fez uso de escarificador.

### 3.4 Velocidade de deslocamento

A análise de variância mostrou que a velocidade de deslocamento foi altamente significativa para ponteiras, na qual a ponteira alada apresentou média inferior à ponteira estreita. Já em relação ao espaçamento não houve diferença significativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios para ponteiras e espaçamentos em relação à velocidade de deslocamento (VD) e à incorporação de resíduos vegetais (IRV)

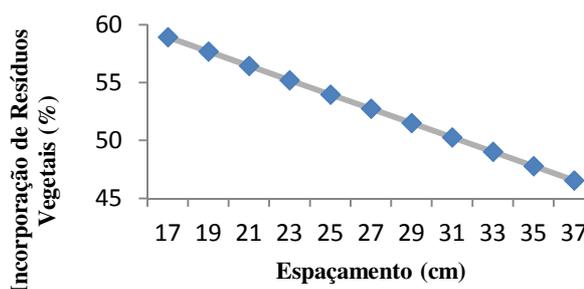
Ponteira	VD (m/s)	IRV (%)
P1	1,23 a	60,29 a
P2	1,17 b	63,69 a
F	27,55*	1,73 ns
C.V. (%)	2,14	10,21
Espaçamento		
E1	1,19 a	72,75 a
E2	1,21 a	57,22 b
E3	1,19 a	56,00 b
Função	ns	linear*
C.V. (%)	2,14	10,21

\* = significativo ao nível ( $p < 0,01$ ) pelo teste de F; ns = não significativo ao nível ( $p > 0,05$ ) pelo teste de F; a, b = tratamentos com letras iguais não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

### 3.5 Incorporação de resíduos vegetais ao solo

A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa em relação às ponteiras, porém em relação aos espaçamentos houve diferença significativa ao nível de 1% como mostrado nas Tabela 3 e Figura 2.

Figura 2 – Gráfico da equação polinomial para a incorporação de resíduos vegetais ao solo



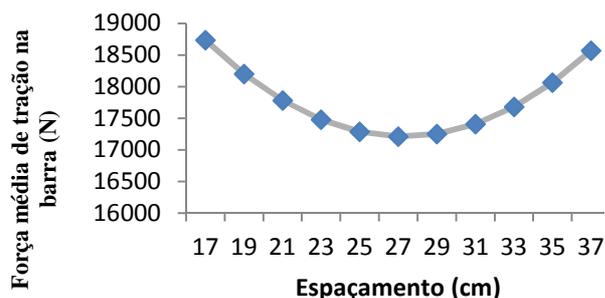
Verificou-se por meio da equação de regressão polinomial que para os maiores espaçamentos, a ferramenta incorpora menos restos vegetais ao solo, proporcionando maior quantidade de resíduos vegetais sobre sua superfície. Logo, entre os espaçamentos estudados, o que proporcionou maior percentual de cobertura vegetal foi 35,5 cm.

O espaçamento E1 (18,0 cm) foi o único que apresentou um pouco de embuchamento devido ao acúmulo de resíduos vegetais nas hastes.

### 3.6 Força média de tração

De acordo com a Tabela 4 houve diferença significativa em relação à força média de tração entre ponteiros ao nível de 1%. Em relação aos espaçamentos houve diferença significativa ao nível de 5% como mostrado nas Tabela 4 e a Figura 3.

Figura 3 – Gráfico da equação polinomial para força média de tração



O gráfico da equação de regressão mostra que a força média de tração é menor para o espaçamento 27,3 cm, talvez por este espaçamento proporcionar melhor interação entre as hastes. Todavia, este espaçamento não foi utilizado na experimentação devido à limitação da barra porta ferramenta que não o comportava. Portanto, verificou-se por meio de da comparação de médias pelo teste de Tukey que os espaçamentos E2 (30,5 cm) e E3 (35,5 cm) foram as melhores.

Casão Jr. (1991) trabalhou em Latossolo Roxo Epieutrófico, com escarificador de 5 hastes flexíveis, na profundidade de 23,0 cm, com velocidade de 4 km/h e umidade do solo a 22,5%, obteve esforço de tração próximo de 1.250 Kgf (12.258 N). Este resultado foi bem

inferior à média de 17.998 N, obtida neste trabalho, uma vez que as médias de velocidade, profundidade e teor de água do solo são bem próximas para os dois trabalhos. A diferença na força de tração pode ter sido causada pelo tipo de ponteira e o espaçamento entre as hastes utilizadas, dados que não foram encontrados no trabalho citado.

Rosa (2007) trabalhou com Latossolo Vermelho distrófico, com escarificador de 5 hastes parabólicas com ponteira estreita, espaçadas 0,34 m, com rolo destorroador e disco de corte, é 0,25 m a profundidade de trabalho, obteve um esforço vertical (FV) bem inferior ao esforço de tração (FT), pois esse atingiu 0,21kN, contra 2,16 kN do FT.

### 3.7 Resistência específica

Considerou a resistência específica, verificou-se que não houve diferença significativa entre ponteiros (Tabela 4). Porém, para os espaçamentos E1 = 18,0 cm; E2 = 30,5 cm e E3 = 35,5 cm, houve diferença significativa ao nível de 5% (Tabela 4), na qual os espaçamentos E2 e E3 foram os melhores quando se utilizou o teste de comparação de médias. Verificou-se por meio de do gráfico (Figura 4) que a resistência específica diminui com o aumento do espaçamento entre hastes até atingir o espaçamento de 33,6 cm, provavelmente devido à influência da interação entre hastes e maior área de solo mobilizado.

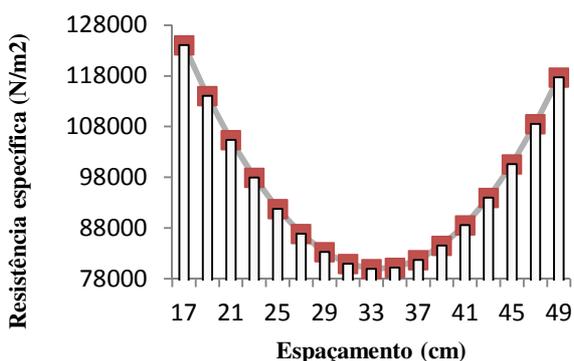
Colet *et al.* (2009), ao estudarem a avaliação da resistência do solo à penetração, na qual passaram as hastes do escarificador nas entrelinhas, verificaram que na profundidade não alcançada pela haste do escarificador, a resistência do solo à penetração foi semelhante à área não escarificada. Resultados semelhantes foram observados por Weirich Neto *et al.* (2006), em um estudo de análise multivariada da resistência do solo à penetração, sob plantio direto.

Tabela 4 – Valores médios para ponteira, em relação à força média de tração (FMT), resistência específica (RE), potência média (PM), energia média requerida (EMR) e energia média requerida por volume de solo mobilizado (ERVM)

Ponteira	FMT (N)	RE (N/m <sup>2</sup> )	PM (KW)	EMR (J)	ERVM (J/m <sup>3</sup> )
P1	16.013,58 b	89.926,83 a	19,59 b	800.679,04 b	89.926,83 a
P2	19981,85 a	97190,48 a	23,40 a	999092,38 a	97190,49 a
F	136,31*	3,77 ns	89,83*	136,31	3,77 ns
C. V.(%)	4,63	9,80	4,58	4,63	9,80
Espaçamento					
E1	18.455,18 a	118.889,15 a	21,88 a	922.758,94 a	118.889,16 a
E2	17.358,23 b	81.392,39 b	20,93 a	86.7911,25 b	81.392,39 b
E3	18.179,74 a, b	80.394,43 b	21,68 a	908.986,94 a, b	80.394,43 b
Função	Quadrática*	Quadrática*	ns	Quadrática*	Quadrática*
C.V. (%)	4,63	9,80	4,58	4,63	9,80

\* = significativo ao nível ( $p < 0,01$ ) pelo teste de F; ns = não significativo ao nível ( $p > 0,05$ ) pelo teste de F; a, b = tratamentos com letras iguais não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Figura 4 – Gráfico da equação polinomial para a resistência específica



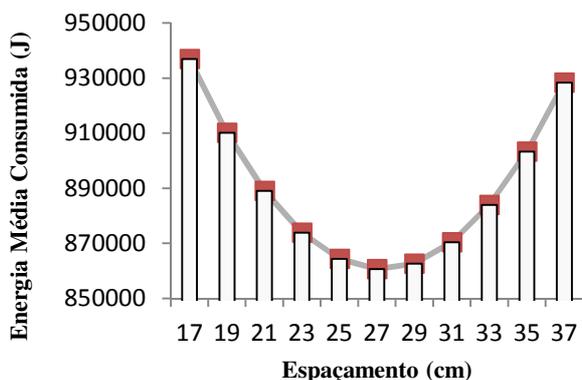
### 3.8 Potência média na barra de tração

Para a demanda de potência média, houve diferença altamente significativa em relação à ponteira, é a melhor média para ponteira estreita. Em relação a espaçamento, não houve diferença significativa (Tabela 4). O aumento de potência para ponteira alada deve ter ocorrido, uma vez que esta apresenta uma maior área superficial, que em contato com o solo eleva a força de tração e, consequentemente, a demanda de potência.

### 3.9 Energia média requerida

A análise de variância em relação à energia requerida mostrou-se altamente significativa para tipos de ponteiras (Tabela 4), apresentou média menor para ponteira estreita, enquanto que para espaçamento foi significativo apenas ao nível de 5%, como mostrado nas Tabela 4 e Figura 4. Para a ponteira alada a análise de variância mostrou-se altamente significativa. Tal fato se justifica devido à sua maior área em contato com o solo, que em consequência proporciona maior demanda de energia na mobilização do mesmo. Em relação ao espaçamento a Tabela 4 mostra que E2 (305,0 mm) e E3 (355,0 mm) tiveram as menores médias quando se utilizou o teste de comparação de médias (Tukey). A equação de regressão mostra que o melhor espaçamento foi 273,0 mm, provavelmente devido à melhor interação entre hastes, pois proporciona menor demanda de energia.

Figura 5 – Gráfico da equação polinomial para a energia média requerida na operação

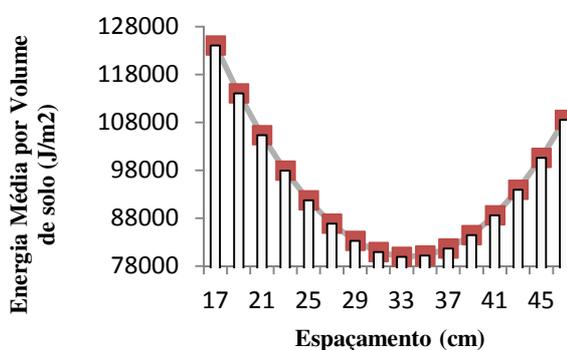


### 3.10 Energia média requerida por volume de solo mobilizado

Este parâmetro é muito importante pois fornece estimativa da energia requerida em função do volume de solo mobilizado para cada parcela. O requerimento energético por volume de solo só foi significativo para espaçamento entre hastes (Tabela 4 e Figura 5).

Constata-se que o requerimento de energia por volume de solo mobilizado é menor para E2 (30,5 cm) e E3 (35,5 cm) quando se utilizou teste de comparação de médias, ou seja, para os maiores espaçamentos entre hastes. A explicação possível está relacionada com uma interação entre as hastes e, consequentemente, com uma maior área mobilizada (Figura 6).

Figura 6 – Gráfico da equação polinomial para a energia média requerida por volume de solo mobilizado na operação



## CONCLUSÕES

Para o parâmetro área da seção mobilizada, a ponteira estreita teve média inferior à ponteira alada, ao nível de 1% de probabilidade.

Para o parâmetro área da seção mobilizada, a média para espaçamento E1 (18,0 cm) foi inferior às médias para os espaçamentos E2 (30,5 cm) e E3 (35,5 cm) ao nível de 1% de probabilidade.

A ponteira alada apresentou eficiência energética superior à ponteira estreita, pois com mesmo número de hastes, trabalhou-se uma área maior de solo, utilizando-se quantidade de energia semelhante.

## REFERÊNCIAS

- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F. **Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. Washington, U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 7, 1966, 22 p.
- CASAO JR., R.; HANKLAIN, J. C.; LADEIRA, A. S.; MORENO, E. C. Efeito de diferentes implementos na resistência à tração e qualidade de preparo do solo (Latossolo Roxo). *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 20, Londrina, 1991. Resumos. Londrina, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991, 22 p.

- COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 361-368, mar./abr., 2009.
- DALLMEYER, A. U.; SALVADOR, N.; LAGE, G.; FERRAUDO, A. S.; GAMERO, C. A. Avaliação da rugosidade do solo sob doze tipos de preparos em Latossolo Roxo Álico. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 18, Recife, 1989. Resumos. Recife, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989, 16 p.
- DERPSCH, R.; HOOGMOED, W.; SIDIRAS, N.; ALMEIDA, F. S. A escarificação como alternativa de preparo e conservação do solo. Trabalho apresentado no **Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação de Solos**, 4. Campinas, 1982, 24 p.
- GAMERO, C. A. Desagregado do solo em diferentes métodos de preparo. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 18, Recife, 1989. Resumos. Recife, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989, 16 p.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1987, p. 04-67.
- KLEIN, V. A. **Desenvolvimento de haste para escarificador em área sob sistema plantio direto**. Santa Maria, 1990. 69 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, 1990.
- LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.
- LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e velocidade de deslocamento**. Botucatu, 1987. 112 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 1987.
- MIRANDA, N. O. **Alterações físicas nos solos podzólico vermelho amarelo e latossolo vermelho escuro submetidos a diferentes condições de preparo reduzido**. Santa Maria, 1986, 64 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, 1986.
- ORTIZ-CANAVATE, J. **Las maquinas agricolas y su aplicación**. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1980, 490 p.
- PAYNE, P. C.; TANNER, D. W. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 4, n. 4, p. 21-31, 1959.
- ROSA, D. P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. Santa Maria, RS, 2007, 122 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2007.
- ROTH, C. H.; MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo Roxo Distrófico durante o período da soja sob preparo convencional, escarificação e plantio direto. Trabalho apresentado no **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 19, Curitiba, 1983, 11 p.
- SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988, 243 p.
- SOUZA, W. R. **Subsolador: Influência de parâmetros geométricos na distribuição das forças**. Campinas, 1989, 113 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, 1989.
- SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An investigation into the deep loosening of soil by rigid fines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 23, n. 3, p. 243-258, 1978.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: Mc Graw-Hill, 1960. 481 p.
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200004>.
- WARD, L. D. Implements for conservation tillage. **Queensland Agricultural Journal**, Queensland, v. 112, n. 4, p. 177-185, 1986.
- WEIRICH NETO, P. H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; NEWES, W. L. C. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000400022>.