

EFEITO DA VELOCIDADE DE OPERAÇÃO DO ARADO DE  
DISCOS, DE ARRASTO, NA COMPONENTE LONGITUDINAL  
DO ESFORÇO TRATÓRIO

ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Engenheiro Agrônomo

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura «Luiz de Queiroz» da  
Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de «Magister Scientiae».

PIRACICABA

Estado de São Paulo — Brasil

Dezembro de 1972

A

meus pais e meus irmãos,  
Maria Alice e Rogério,

D E D I C O

## A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. ODILON SAAD, orientador, e ao Prof. Dr. LUIZ GERALDO MIALHE, do Departamento de Engenharia Rural da E.S.A. "Luiz de Queiroz", U.S.P., Piracicaba, SP.

Ao Prof. Dr. JOÃO BAPTISTA GUIMARÃES JR., ao Prof. Dr. CÉZAR PIEDADE JR. e ao Prof. EDEMAR JOSÉ SCALOPI, do Departamento de Engenharia Rural da F.C.M.B.B., Botucatu, SP.

À Profa. MARIA ALICE DE LOURDES BUENO SOUSA e ao Prof. Dr. FERNANDO ANTONIO DUARTE CONCEIÇÃO, do Departamento de Fito - tecnia, da F.C.M.B.B.

À Profa. SHEILA ZAMBELLO DE PINHO, do Departamento de Matemática da F.C.M.B.B.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Rural e do Departamento de Agrotecnia e Geologia, da F.C.M.B.B., pela contribuição prestada.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da F.C.M.B.B., pela dedicada colaboração.

Ao Departamento de Recursos Naturais Renováveis, da Secretaria da Agricultura do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, M G.

## C O N T E Ú D O

1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA .....	5
3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
3.1 - Materiais .....	12
3.1.1 - Trator .....	12
3.1.2 - Arado .....	13
3.1.3 - Dinamógrafo .....	13
3.1.4 - Dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator .....	15
3.1.5 - Dispositivo de medir o perfil de corte .....	19
3.1.6 - Solos .....	19

3.2 - Métodos .....	24
3.2.1 - Ensaio preliminares .....	24
3.2.2 - Delineamento experimental .....	25
3.2.3 - Execução dos ensaios definitivos ....	25
3.2.4 - Determinação da umidade do solo .....	26
3.2.5 - Medição da largura de corte .....	29
3.2.6 - Medição do perfil de corte .....	29
3.2.7 - Área da secção de corte .....	29
3.2.8 - Registro dos dados da componente lon- gitudinal .....	31
3.2.9 - Determinação da força específica mé - dia .....	31
4 - RESULTADOS OBTIDOS .....	32
5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	37
6 - CONCLUSÕES .....	46
7 - RESUMO .....	48
8 - SUMMARY .....	50
9 - BIBLIOGRAFIA CITADA .....	52

## Q U A D R O S

QUADRO 1 - Características físicas de 2 solos pertencen <u>tes</u> às classes texturais argila e areia, à profundidade de 20 cm. ....	22
QUADRO 2 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural argila, para a velocidade $V_1$ . ....	33
QUADRO 3 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural argila, para a velocidade $V_2$ . ....	33
QUADRO 4 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural argila, para a velocidade $V_3$ . ....	34

QUADRO 5 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural argila, para a velocidade $V_4$ . .....	34
QUADRO 6 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural areia, para a velocidade $V_1$ . .....	35
QUADRO 7 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural areia, para a velocidade $V_2$ . .....	35
QUADRO 8 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural areia, para a velocidade $V_3$ . .....	36
QUADRO 9 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de <u>cam</u> po, em solo de classe textural areia, para a velocidade $V_4$ . .....	36
QUADRO 10 - Análise da variância dos dados referentes ao efeito do aumento da velocidade de desloca - mento do arado sobre a força específica mé- dia, em um solo de classe textural argila...	38
QUADRO 11- Análise da variância dos dados referentes ao efeito do aumento da velocidade de desloca - mento do arado sobre a força específica mé- dia, em um solo de classe textural areia....	38

QUADRO 12 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre duas médias de tratamentos obtidas dos dados do ensaio no solo de classe textural argila...	39
QUADRO 13 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre duas médias de tratamentos obtidas dos dados do ensaio no solo de classe textural areia....	39
QUADRO 14 - Análise da variância da regressão linear <u>pa</u> ra o solo de classe textural argila. ....	43
QUADRO 15 - Análise da variância da regressão linear <u>pa</u> ra o solo de classe textural areia.....	43



## F I G U R A S

FIGURA 1 - Dinamógrafo utilizado para medição e registro dos valores da componente longitudinal do esforço tratório. ....	14
FIGURA 2 - Esquema do circuito elétrico do sistema dinamômetro-registrador. ....	16
FIGURA 3 - Dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator. ....	17
FIGURA 4 - Dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator. a - Esquema de forças. ....	18
FIGURA 5 - Dispositivo de madeira para se medir o perfil de corte do sulco de aração. ....	20

FIGURA 6 - Dispositivo de madeira para medir o perfil de corte. a-Pequena barra de madeira. b-Réguas de madeira com graduações em cm. c-Haste de fixação. ....	21
FIGURA 7 - Arado de discos, de arrasto, em operação em solo de classe textural areia. ....	27
FIGURA 8 - Faixa arada em solo de classe textural argila. ....	28
FIGURA 9 - Faixa arada em solo de classe textural areia.	28
FIGURA 10 - Secções de cortes do arado, obtidas durante os ensaios de campo nos tipos de solos. a-solo de textura argila, b-solo de textura areia.....	30
FIGURA 11 - Efeito da velocidade de deslocamento do arado de discos, de arrasto, na força específica média, em ensaios realizados em dois solos de diferentes classes texturais. ....	44

## 1 - INTRODUÇÃO

A aração constitui uma fase integrante do preparo periódico do solo e consiste no corte, elevação e posterior inversão de uma fatia de terra denominada leiva. Visa-se, com essa operação, a um dos seguintes objetivos: revolver o solo, arejando suas camadas internas e as expondo à ação dos raios solares, facilitando o emprego de outras máquinas; tornar o solo um leito favorável ao desenvolvimento das sementes; incorporar ao solo restos de culturas, estercos e corretivos com a finalidade de lhe manter ou aumentar a fertilidade; incorporação da cobertura vegetal para controle de ervas daninhas ou para incorporar adubos verdes; propiciar ou conservar as condições do solo que promovam um mínimo de outras operações e solicitações em potência; in-

corporação de culturas prejudicadas ou improdutivas.

O Brasil possui uma extensão territorial de 8.456.508 km<sup>2</sup> (já excluídas as águas internas), ou seja, 845 milhões de hectares, dos quais a área cultivada atinge, aproximadamente, 35 milhões, o que corresponde a 4,2% da superfície total. Por outro lado, a frota nacional de tratores é estimada em 150.000 unidades. Considerando-se a relação mínima de um arado para cada trator, obtém-se o total aproximado de 150.000 arados, que corresponderia a uma relação de 235 hectares para cada arado tratorizado.

O crescente aumento da área cultivada e da frota de tratores, a relativa facilidade para aquisição de máquinas e implementos, a evolução da maquinaria agrícola requerem pesquisas tecnológicas que visem ao aprimoramento dessas máquinas, assim como à indicação do seu uso racional e à economicidade do emprego das mesmas tendo-se em vista a perspectiva de gradual diminuição da relação ha/arado.

Em nosso país a máquina de tração mecânica mais utilizada no serviço de aração tem sido o arado de discos, preferência esta cujas mais prováveis causas parecem ser : a possibilidade de realização de um trabalho satisfatório mesmo que os discos estejam gastos; o fato de não se praticar agricultura de inverno e de estar o solo, quando da aração, tomado por vegetação relativamente grande, o que impede o uso do arado de aiveca; a facilidade, oferecida pelo arado de discos, de rolar sobre os obstáculos encontrados, bem como o fato de o seu uso apresentar sempre menor probabilidade de formação de uma camada endurecida logo abaixo da su -

perfície arada.

No que tange às pesquisas a respeito da aração, envolvendo a mesma o sistema solo-máquina, é de se ver que uma análise qualitativa de tal sistema implica na consideração de diversos aspectos. Assim é que, atualmente, tendo-se em mira o aumento do rendimento em área trabalhada, há uma tendência manifesta no sentido de uma especial preocupação com o aumento da velocidade de operação. Este assunto foi objeto da Assembléia Anual realizada em 1968, nos Estados Unidos, pela Sociedade de Engenheiros Automobilistas, na qual se apresentou um informe sobre engenheiros pesquisadores da Deere & Company. Em 1971, essa mesma sociedade dedicou uma sessão completa aos tratores e implementos de alta velocidade.

O aumento da velocidade tem implicação sobre o sistema solo-máquinas em razão da ação da energia cinética sobre as características físicas do solo e suas conseqüências para as culturas a serem instaladas.

Com relação ao arado, como uma máquina cujo projeto deve ser aperfeiçoado em função das condições operacionais, tem particular interesse o conhecimento das forças reativas a que está submetido em diversas velocidades de operação. É evidente também que o seu desempenho, no que se refere ao tempo e à energia aplicada, requer investigações mais profundas em nosso país, pois deve haver condições limites em que grande parte da energia aplicada é convertida em forças reativas ou outras de energia deletéria ao sistema solo-máquina.

Do exposto ressalta a particular importância que assu  
me o presente trabalho de pesquisa, onde se propõe investi-  
gar a influência da variação da velocidade de operação nos  
requerimentos de tração (\*) sob diferentes condições opera-  
cionais, com vistas a subsídios para o aprimoramento de pro  
jetos de arado de discos, de arrasto.

---

(\*) Doravante, será usada, no presente trabalho, a designa-  
ção de componente longitudinal do esforço tratório para o  
"draft" ao invés de força de tração, por se julgar mais con  
veniente.

## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

As informações concernentes ao efeito da variação da velocidade de deslocamento do arado de discos sobre o valor da componente longitudinal do esforço tratório existentes na literatura são relativamente escassas. Isto talvez se explique em face de a maioria das pesquisas em dinâmica de arados ser realizada nos Estados Unidos e na Europa, onde o arado de aiveca tem seu uso mais difundido. Dos diversos trabalhos constantes na literatura teórica desses países, destacam-se os seguintes :

GORDON (1941) estudou, em laboratório, a dinâmica do disco, utilizando dois solos de diferentes texturas, designados por argila Decatur e barro Davidson. Nos ensaios con-

duzidos variaram as profundidades, os ângulos de regulagem, a geometria dos discos e as velocidades. Para a variação de velocidade, o autor encontrou, de acordo com a inclinação das duas curvas da componente longitudinal do esforço tratório, uma média de aumento aproximadamente igual nos dois solos. Embora a lâmina do disco cortasse uma largura duplicada no solo Decatur argila, o valor da componente longitudinal requerido por polegada quadrada de secção de corte era maior nesse tipo de solo do que no de barro. As curvas "plotadas" mostram que o aumento da componente longitudinal com o aumento da velocidade não é uniforme, mas numa proporção levemente acelerada. Concluiu que o fator velocidade exerce uma influência definida no aumento da componente longitudinal. Para um solo barro-arenoso, o valor da componente longitudinal de um disco foi aumentado de 67% quando a velocidade aumentou de 2,5 para 5 milhas por hora.

McKIBBEN e REED (1952) afirmam ser evidente o aumento da componente longitudinal do esforço tratório quando é aumentada a velocidade. Apresentam dados de um grande número de ensaios com implementos agrícolas de preparo inicial do solo. Os dados indicam 13 solos diferentes, 25 arados de aiveca, 2 arados de discos, 1 rolo faca e 1 subsolador, incluindo mais de 60 combinações de implementos feitas em período de 30 anos (1919-1949), em 4 estados (Califórnia, Iowa, Ohio e Alabama), sob a direção de 7 diferentes engenheiros agrícolas. Os dados são referenciados em porcentagem de "tração" para um determinado implemento operando a 3 milhas por hora. Foram estabelecidas curvas obtidas por meios não



analíticos. Estes dados indicaram que a porcentagem de aumento na "tração" de um implemento de preparo inicial com o aumento de sua velocidade acima de 3 milhas por hora será, provavelmente, entre 5 a 15 vezes a potência de 1,5 vezes do acréscimo na velocidade.

PAYNE (1956) utilizou-se da mecânica do solo para estudar ou prever a componente longitudinal do esforço tração e o volume de solo removido pelos implementos agrícolas. Usou, em seus ensaios de campo, um dente retangular e vertical. Pelas medições da resistência de cisalhamento do solo e da resistência de deslizamento solo-implemento, bem como pelo peso do volume do solo, foi capaz de prever com alguma segurança as forças que atuam no implemento. Encontrou um aumento na componente longitudinal do esforço tração quando era aumentada a velocidade.

TELISCHI, McCOLLY e ERICKSON (1956) realizaram ensaios de laboratório e determinaram os requerimentos da componente longitudinal em função de variáveis do solo, do implemento e da velocidade, em condições controladas. Foram estabelecidas as curvas da componente longitudinal em função dos parâmetros selecionados pelos autores como os mais relevantes, tais como velocidade, teor de argila, teor de umidade, compactação. Usaram quatro diferentes velocidades de deslocamento. Encontraram uma equação geral,  $y = ax^b - c$ , a qual podia representar a relação entre a velocidade (x) e a componente longitudinal do esforço tração (y). Em solo arenoso ou em solo onde o teor de umidade é baixo, o expoente b é aproximadamente zero. Em solos com altos teores de

argila e umidade, o expoente  $b$  será maior que um e a relação é nem sempre linear. Segundo os autores, os resultados foram satisfatórios, embora recomendassem investigações mais amplas.

GETZLAFF e SOHNE (1959), em ensaios de campo, com o objetivo de determinar as forças e requerimentos de potência em arado de discos girando livremente e movidos por unidade motriz auxiliar, utilizaram dois tipos de discos, um dentado e um liso, e dois níveis de velocidade, 1,0 e 1,9 m/s. Do ponto de vista da velocidade de operação, concluíram que a velocidade de aração teve pouca influência na inclinação das curvas, alterando ligeiramente os valores absolutos.

DAVIDSON, FLETCHER e COLLINS, citados por ROWE (1959), encontraram que o aumento da velocidade de uma para quatro milhas faz com que aumente de 16 para 25% o valor da componente longitudinal do esforço tratório.

ROWE e BARNES (1961) fizeram ensaios dinâmicos em laboratório e em caixas de solos, empregando células de carga com extensômetros elétricos de resistência SR-4. Como ferramenta de corte do solo, utilizaram uma lâmina inclinada e tiveram um procedimento analítico baseado na mecânica de solo. Ficou demonstrado que a resistência ao cisalhamento do solo cresceu com a velocidade de corte da ferramenta. Isto foi explicado como sendo o fator preponderante no aumento da componente longitudinal do esforço tratório em função do aumento da velocidade.

JOHNSTON e BIRTWISTLE (1963), em experimentos de campo, utilizaram-se de um arado de arrasto com dois discos, especialmente construído. O sistema permitiu, através de células de carga com extensômetros elétricos de resistência, detectar as forças nas direções x, y, z, nos pontos de fixação do disco posterior à estrutura. Estudaram diferentes combinações de ângulos, diâmetro de discos, concavidade e bordos dos discos, largura, profundidade e velocidade de aração. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e evidenciaram que a velocidade, nos três tipos de solos utilizados, teve um efeito altamente significativo na componente longitudinal do esforço tratório.

LARSON, LOVELY e BOCKHOP (1968), utilizando caixas de solo, fizeram um estudo dos diferentes fatores que afetam a força de tração em arados de aiveca. Aplicando o teorema pi (análise dimensional), procuraram estabelecer uma equação geral para se predizer a força de tração em função das variáveis consideradas como mais importantes. Segundo os autores, a equação obtida por meio dos termos pi e os dados experimentais revelaram uma boa aproximação, confirmando a "coesão aparente" e o "ângulo de resistência ao cisalhamento" como as principais variáveis do solo que influenciaram a tração nos arados de aiveca. Os autores recomendam a necessidade de se estabelecerem equações mais gerais, incluindo outros parâmetros de solo.

No Brasil, são relativamente poucos os trabalhos realizados neste campo. O primeiro estudo de que se tem refe -

rência é o de LEME (1953) que, em ensaios de campo, procurou determinar a influência da profundidade de aração no esforço tratório requerido pelos arados de discos. Usou um arado de arrasto, com 3 discos de 24 1/2 polegadas de diâmetro, pesando 900 kg. O solo apresentou 65,5% de areia, 22,4% de argila e 12,1% de limo. A relação linear encontrada foi:  $y = -0,01325x - 0,734$  para o coeficiente de resistência do solo  $y$ , em função da profundidade de trabalho  $x$ . A profundidade de trabalho variou de 7 a 24 cm e a largura de corte foi de 0,80 m. A umidade do solo era de 4,6%. Quanto à velocidade de deslocamento, nada mencionou o autor.

OMETTO (1957) realizou trabalho sobre a influência da umidade do solo no comportamento de arados de arrasto, de discos e de aiveca, quanto ao requerimento do esforço tratório, e no coeficiente de resistência, para dois tipos de solos. Quanto à velocidade, apenas convencionou que seria de 1 m/s. Concluiu que o arado de aiveca requereu um esforço tratório maior que o arado de discos, para todos os ensaios realizados.

MIALHE e SILVEIRA (1971) fizeram ensaios de campo, empregando arado de discos de arrasto deslocando-se com três diferentes velocidades: 3,86, 5,14 e 6,20 km/h em solo caracterizado como sendo da Série Sertãozinho. Os autores concluíram principalmente que o aumento da velocidade de deslocamento do arado acarreta um aumento da potência para tracioná-lo, sugerindo que isto seja provocado mais pelo aumento da velocidade em si do que pela variação do coeficiente de resistência do solo.

Do exposto, pode-se concluir que algumas pesquisas foram realizadas em condições de laboratório em caixas ou tanques de solo por motivo da dificuldade de controle das variáveis estudadas, principalmente quando se buscam relações bem determinadas. Entretanto, tal não exclui a necessidade de pesquisas em condições de campo, quando, através da análise estatística, se pode obter conclusões mais gerais e mais realísticas. Daí ter-se optado pela realização do presente trabalho.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Materiais

Os materiais utilizados no presente trabalho abrangem o trator, o arado, o dinamógrafo, o dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator, o dispositivo para medição do perfil de corte e os solos onde foram realizados os ensaios. Serão descritos a unidade de registro com relação aos ensaios realizados, os equipamentos e as medidas empregadas.

##### 3.1.1 - Trator

Para tracionar o arado, foi utilizado um trator de rodas pneumáticas, marca Massey-Ferguson, mode-

lo MF-178, com motor Diesel Perkins A-4248 de 4 cilindros , com uma potência máxima de 72,5 HP a 2.000 rpm, possuindo 6 velocidades para a frente e duas a ré, com um peso total de 2.964 hg.

### 3.1.2 - Arado

Foi empregado um arado de discos de arrasto, da marca Civemasa, modelo ARC-1.000, equipado com 3 discos de 710 mm de diâmetro com levantamento por meio de catraca, pesando 1.300 kg. Os discos estão dispostos de maneira que apresentem uma distância de 57 cm entre si, e a posição de regulagem para o ângulo horizontal foi de  $42^{\circ}$  e, para o ângulo vertical, de  $20^{\circ}$ .

### 3.1.3 - Dinamógrafo

Para medição e registro dos valores da componente longitudinal do esforço tratório foi usado um dinamógrafo (FIGURA 1), composto de um transdutor eletromecânico marca PIAB de fabricação suíça modelo B, com capacidade para 1.000 kg . Constituem-no um transdutor primário tipo "mola" e um transdutor secundário do tipo potenciômetro bobinado com resistência nominal de 1.000 ohms, inserido num circuito meia-ponte de Wheatstone. A alimentação da ponte é feita por uma pilha de mercúrio de 9 V padrão. A unidade de registro consiste num registrador potenciométrico tipo pena, marca Norma, calibrado para fornecer as variações de sinal elétrico em quilograma-força, com uma sensibilida-

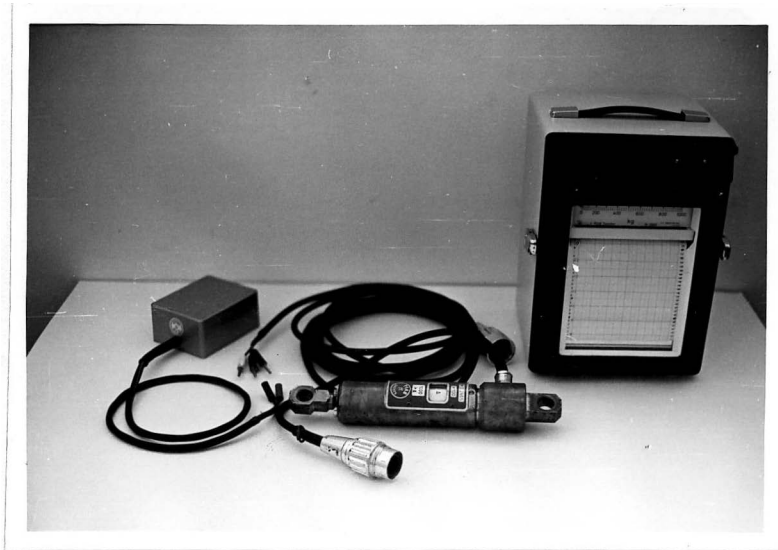


FIGURA 1 - Dinamógrafo utilizado para  
medição e registro dos va-  
lores da componente longi-  
tudinal do esforço tratório.



de de 20 kgf e acuracidade de  $\pm 0,6\%$  da capacidade máxima . A FIGURA 2 mostra, em esquema, o circuito elétrico do sistema. O movimento do papel é proporcionado por um mecanismo de relógio com velocidades variáveis pela seleção das engrenagens de transmissão. Um cabo de conexão de 5 metros permite acoplar o transdutor secundário com a unidade de registro.

#### 3.1.4 - Dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator

Tendo-se em vista o propósito da medição e considerando-se a capacidade máxima do dinamômetro (1.000kg), após um cálculo estimativo da magnitude das forças envolvidas para o arado em questão, foi necessário adotar-se um dispositivo na barra de tração, a fim de se atenuarem as deformações percebidas pela unidade transdutória numa gama aceitável para o sistema.

A finalidade do dispositivo de acoplamento (FIGURA 3) do transdutor eletromecânico ao trator foi permitir a medição indireta e atenuada da componente longitudinal. Esse dispositivo (FIGURA 4), que se baseia na decomposição do esforço tratório em componentes de mesma direção e sentidos opostos, permitiu ao dinamômetro medir a menor dessas componentes. Por simples cálculo estático, baseado nas dimensões geométricas do dispositivo, pode-se obter a componente longitudinal do esforço tratório FT.

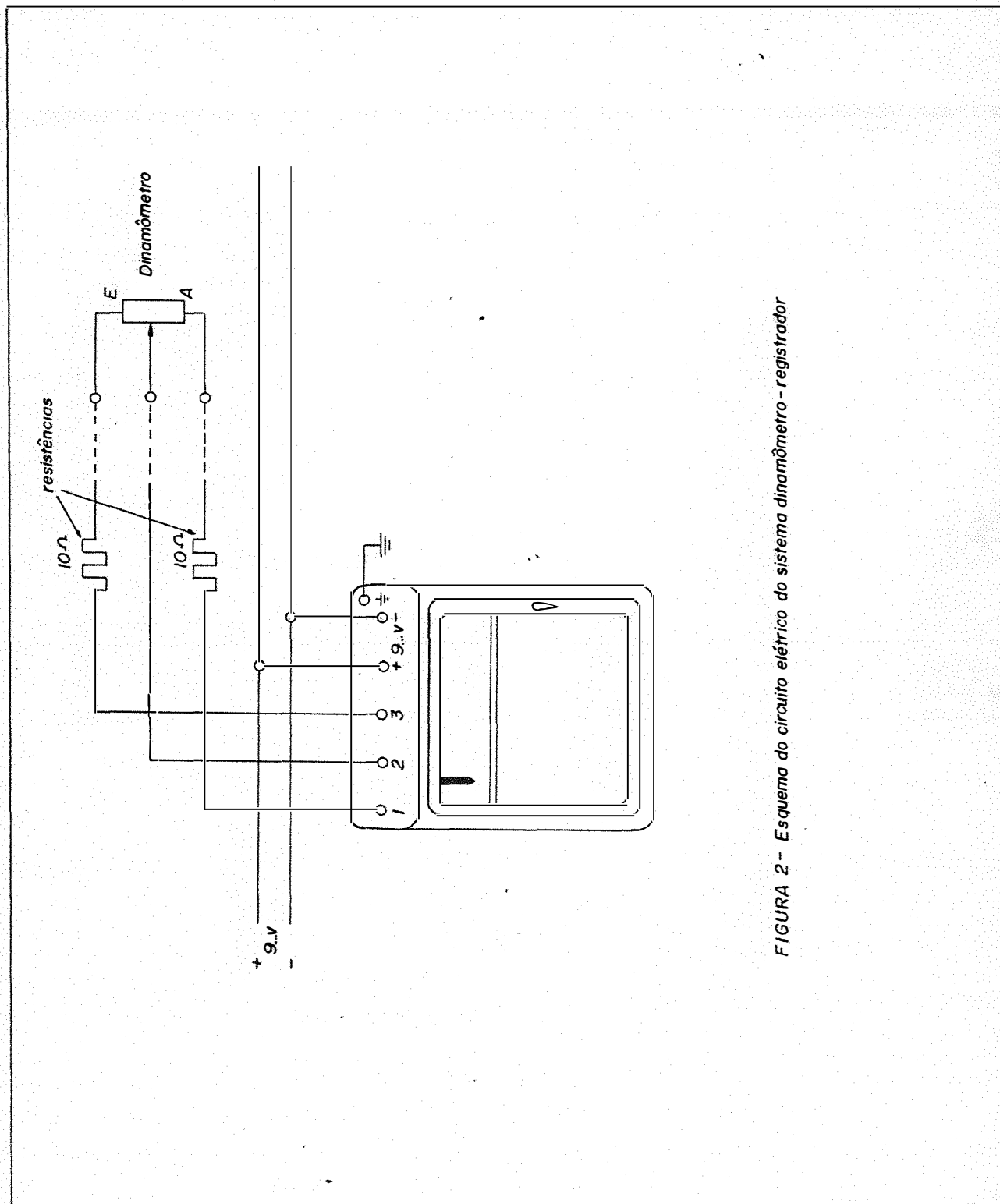


FIGURA 2 - Esquema do circuito elétrico do sistema dinamômetro - registrador



FIGURA 3 - Dispositivo de acoplamento do  
dinamômetro ao trator.

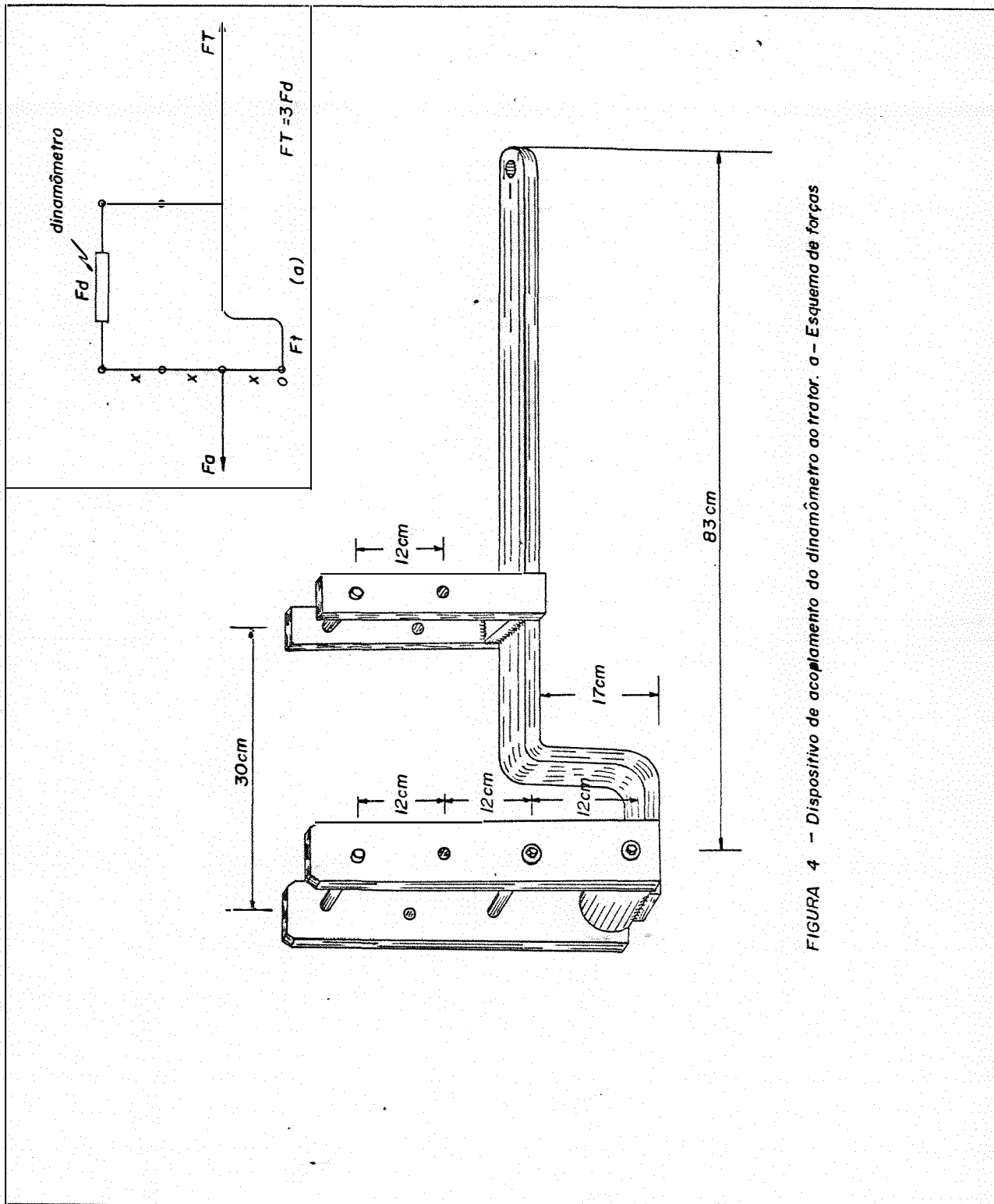


FIGURA 4 - Dispositivo de acoplamento do dinamômetro ao trator. a - Esquema de forças

$$F_a = F_T = F_d + F_t \quad (A) \quad (1) = (2)$$

$$\Sigma M_o = F_d \cdot 3x = F_a \cdot x \quad \frac{F_a}{3} = \frac{F_t}{2} \quad \therefore F_a = 1,5 F_t$$

$$F_d = \frac{F_a}{3} \quad (1)$$

De (A) e (3)

$$\Sigma M_p = 0$$

$$F_a = F_t + 0,5 F_t$$

$$F_d \cdot 2x = F_t \cdot x$$

$$F_d = 0,5 F_t$$

$$F_d = \frac{F_t}{2} \quad (2)$$

$$F_t = 2 F_d \quad F_T = F_d + 2F_d$$

$$\boxed{F_T = 3F_d} \quad (I)$$

### 3.1.5 - Dispositivo de medir o perfil de corte

Para a obtenção do perfil de corte do arado, foi utilizado um dispositivo de madeira especialmente feito para essa finalidade (FIGURAS 5 e 6). Consistia de uma pequena barra de madeira com um comprimento de 170 cm e uma secção de 3,5 x 6 cm. Possuía, a cada 10 cm, furos de forma aproximadamente elíptica, onde havia pequenas régua de madeira com graduação em cm. Estas régua se movimentavam verticalmente nos furos da pequena barra.

### 3.1.6 - Solos

Os ensaios foram desenvolvidos em dois solos, cujas análises granulométricas, efetuadas pelo Centro de Estudos de Solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, são apresentados no QUADRO 1. Ambos ocorrem na Estação Experimental de Botucatu, Estado de



FIGURA 5 - Dispositivo de madeira para se medir o perfil de corte do sulco de aração.

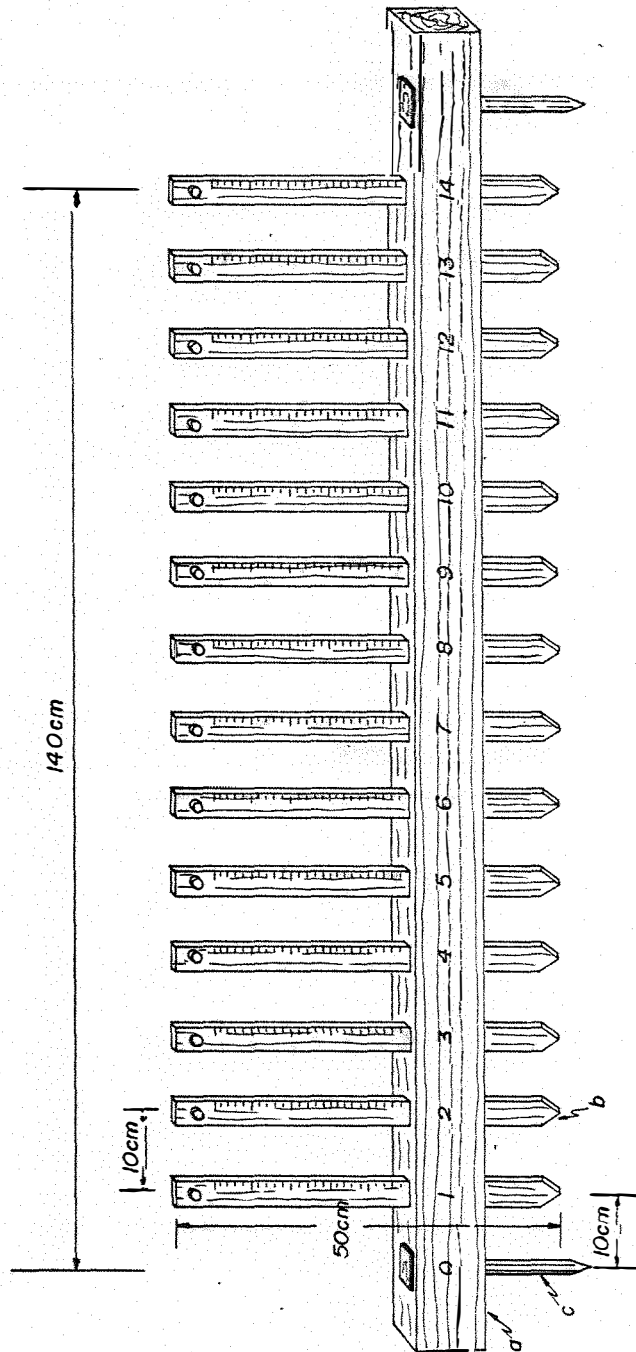


FIGURA 6 - Dispositivo de madeira para medir o perfil de corte. a - Pequena barra de madeira. b - Régua de madeira com graduações em cm. c - Haste de fixação

QUADRO 1 - Características físicas de 2 solos pertencentes às classes texturais argila e areia, à profundidade de 20 cm.

% das frações constituintes	Classe Textural	
	Argila	Areia
Areia muito grossa (2-1 mm)	0,2	-
Areia grossa (1-0,5 mm)	1,1	2,5
Areia média (0,5-0,25 mm)	6,7	29,9
Areia fina (0,25-0,10 mm)	12,0	45,6
Areia muito fina (0,10 - 0,05 mm)	3,5	5,0
Areia total	23,5	83,0
Limo (0,05 mm - 0,02 mm)	28,8	4,3
Argila (0,002 mm)	47,7	12,7
Densidade real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,88	2,62
Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,19	1,35



São Paulo. As descrições morfológicas foram feitas pelo Departamento de Agrotecnia e Geologia, da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu.

O solo de classe textural argila encontra-se localizado no topo de uma elevação, apresentando um declive de 3%, de forma convexa. A superfície do solo apresentava uma cobertura vegetal composta das seguintes espécies: capim gordura (Melinis minutiflora, Beauv), capim colônia (Panicum maximum, Jacq) e barba de bode (Aristida pallens, Cav).

Este solo foi classificado, pela COMISSÃO DE SOLOS (1960), como sendo do Grande Grupo Terra-Roxa-Estruturada, da classe textural argila. O perfil, nos horizontes superficiais, apresenta a seguinte descrição morfológica:

Ap 0-10 cm; vermelho (2,5 YR 4/6) seco, vermelho escuro (2,5 YR 3/6) úmido; argila; granular, pequena, moderado; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; raízes finas, abundantes; limite suave, claro.

B<sub>21</sub> 10-27 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/6) seco, pardo avermelhado escuro (2,5 YR 3/4), úmido; argila; prismática, média, forte; cerosidade moderada, comum; muito duro, firme, muito plástico, pegajoso; raízes finas, abundantes; limite suave, gradual.

O solo de textura areia encontra-se numa situação de relevo normal ondulado. O declive de 7,5% apresenta uma forma plana. Por ocasião do desenvolvimento deste ensaio não havia cobertura vegetal na superfície do solo.

lo, face a uma recente queimada. Este solo encontra-se classificado como sendo do Grande Grupo Latossolo - Vermelho - Amarelo, fase arenosa, segundo a COMISSÃO DE SOLOS (1960).

O perfil modal apresenta a seguinte descrição morfológica:

Ap 0-15 cm; alaranjado (5 YR 4/6) seco, pardo avermelhado-escuro (5 YR 3/3) úmido; barro arenoso, composta granular, pequena, fraco e grãos simples; solto, muito friável, não plástico, não pegajoso; raízes finas, abundantes; limite suave, abrupto.

B<sub>1</sub> 15-43 cm; pardo avermelhado (5 YR 4/4) seco, pardo avermelhado-escuro (5 YR 3/4) úmido, barro argilo-arenoso; blocos subangulares, pequenos, moderado; ligeiramente plástico, pegajoso; raízes finas, comuns; limite suave, gradual.

### 3.2 - Métodos

Tendo sido usados dois solos distintos, fica pré-estabelecido que os itens de métodos, descritos a seguir, se aplicam a cada um dos solos.

#### 3.2.1 - Ensaios preliminares

Os ensaios preliminares foram desenvolvidos com vista a três objetivos distintos. Primeiramente, procurou-se regular o arado para uma profundidade de corte

de 20 cm, que seria a utilizada nos ensaios. O segundo objetivo foi fazer-se a determinação da largura de corte, com a finalidade de se determinar a secção transversal. Finalmente, foram determinadas as 4 velocidades que seriam empregadas nos ensaios definitivos. Para tanto, foram delimitadas distâncias de 20 metros, as quais seriam percorridas pelo trator tracionando o arado em serviço. As velocidades foram selecionadas por tentativa, cronometrando-se o tempo gasto para se percorrer a referida distância a diferentes posições da alavanca de marcha e rpm do motor.

### 3.2.2 - Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos foram designados por  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$ , correspondendo às respectivas velocidades em ordem crescente. Cada parcela apresentou 20 metros de comprimento. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente aplicando-se análise de variância e empregando-se o teste de Tukey para comparação das respectivas médias (PIMENTEL GOMES, 1970).

### 3.2.3 - Execução dos ensaios definitivos

As parcelas foram dispostas em nível. Entre os blocos foi deixada uma faixa com a finalidade de separá-los. Inicialmente, em cada bloco, foram feitos, com o arado, três sulcos consecutivos, os quais serviriam de guia e como base para os sulcos posteriores dos tratamentos. To-

dos os trajetos percorridos foram cronometrados para aferição das velocidades. Nas FIGURAS 7, 8 e 9 são vistos, respectivamente, o arado de discos em operação, faixa arada do solo de classe textural argila e faixa arada do solo de classe textural areia.

As 4 velocidades selecionadas foram :  
 2,86  $\pm$  0,03 (C.V. = 1,15%), 3,61  $\pm$  0,22 (C.V. = 6,31 %) ,  
 4,74  $\pm$  0,08 (C.V. = 1,71%) e 6,64 km/h  $\pm$  0,16 (C.V.=2,42%).

#### 3.2.4 - Determinação da umidade do solo

Logo após a passagem do arado, eram coletadas 3 amostras por parcela. As amostras de solo eram retiradas em diferentes pontos, no perfil de corte do sulco deixado pelo último disco. Para se conseguir uma amostra representativa de 0-20 cm, procedia-se a uma remoção de solo no perfil de corte. Com o auxílio de uma espátula, escavava-se a parede lateral do sulco da aração de modo a deixá-la vertical, para uniformização do perfil. O método empregado na determinação da umidade foi o gravimétrico padrão, com secagem em estufa a 105°C. Na ocasião da realização dos ensaios, o solo de textura argila apresentava uma umidade média de 28,37%  $\pm$  1,44 (C.V. = 5,08%) e o solo de textura areia, uma umidade média de 8,67%  $\pm$  1,29 (C.V. = 14,87%). A duração do ensaio foi insuficiente para se promoverem variações significativas do teor de umidade do solo.



FIGURA 7 - Arado de discos, de arrasto, em operação em solo de classe textural areia.

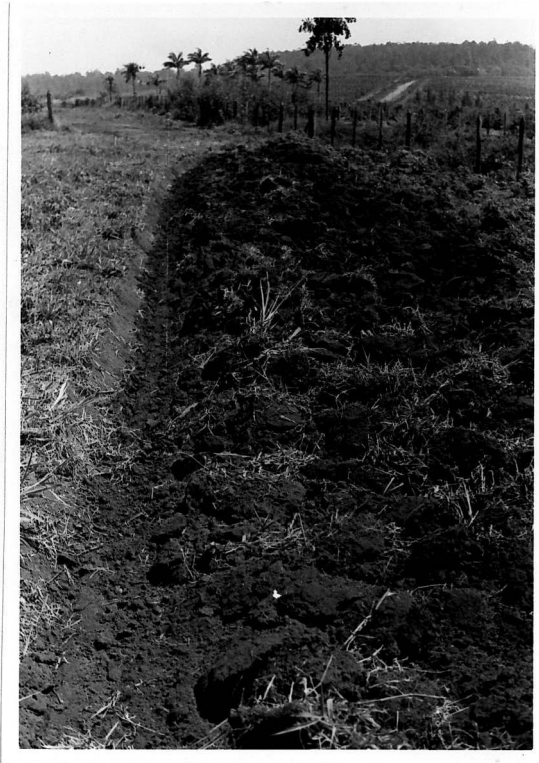


FIGURA 8 - Faixa arada em solo de classe textural argila.



FIGURA 9 - Faixa arada em solo de classe textural areia.

### 3.2.5 - Medição da largura de corte

A medição da largura de corte de cada sulco era feita entre sua borda e a anterior. Havia 3 estacas fora de cada bloco e com seu alinhamento seguindo o sentido das parcelas. A cada parcela executada, procedia-se à medição do espaço compreendido entre seu bordo e cada uma das 3 estacas, e assim sucessivamente. Por diferença, obtinham-se as larguras.

### 3.2.6 - Medição do perfil de corte

Para a obtenção do perfil de corte, utilizavam-se os mesmos locais onde tinham sido feitas as medições de largura. Procedia-se a uma remoção bastante cuidadosa do solo no sulco, no seu sentido transversal, onde se instalava o dispositivo de madeira para se medir o perfil de corte. Com isso, obtinham-se, através das leituras das régua, as cotas do perfil. Os dados assim obtidos eram transportados para um papel milimetrado, onde se obtinha o perfil de cada sulco, em escala reduzida.

### 3.2.7 - Área da secção de corte

Através dos valores das larguras e perfis de corte obtidos no campo, faziam-se, no papel milimetrado, as plantas das secções, em escala reduzida. Com o auxílio de um planímetro, determinavam-se, então, as respectivas áreas de corte (FIGURA 10).

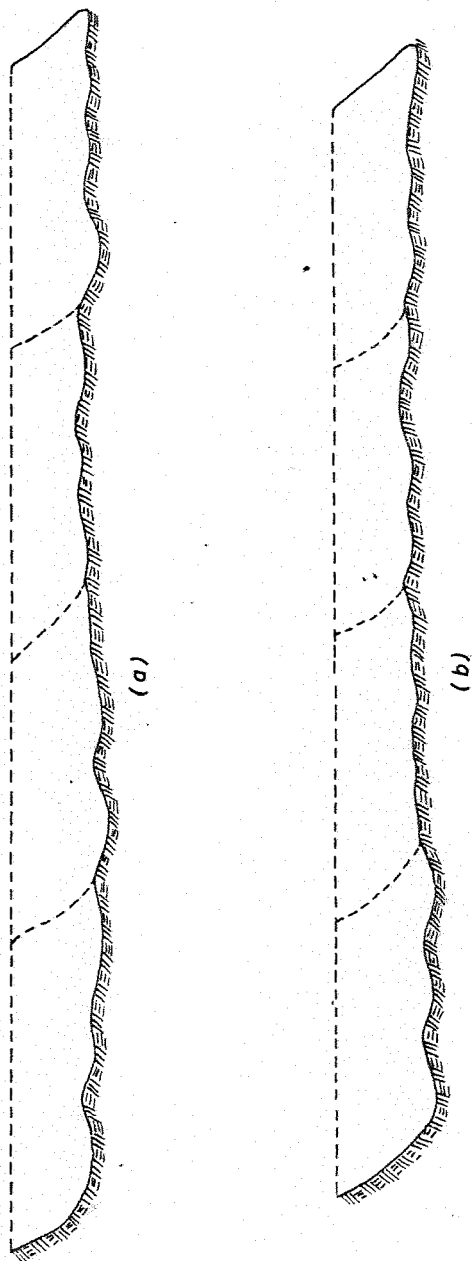


FIGURA 10 - Seções de cortes do arado, obtidos durante os ensaios de campo nos tipos de solos. a - solo de textura argila, b - solo de textura areia.



### 3.2.8 - Registro dos dados da componente longitudinal

O dinamômetro foi acoplado entre o trator e o arado, através do dispositivo de acoplamento que permite o registro dos dados. Durante o ensaio, o registrador era transportado por um operador que acompanhava o trator enquanto este se deslocava.

A partir do gráfico obtido no registrador, determinava-se o valor médio da componente longitudinal pelo método da integração mecânica das áreas. O valor assim obtido era multiplicado pelo fator de atenuação, conforme estabelecido na equação (I).

### 3.2.9 - Determinação da força específica média

Com o propósito de se estabelecer um valor mais realístico, em face da dificuldade em se obterem secções iguais às diferentes velocidades selecionadas, foi determinada a força específica média para cada parcela dividindo-se a força média pela secção correspondente. Este efeito decorreu mais da influência da velocidade na profundidade de aração do que dessa mesma influência na largura de corte. Sendo a força expressa em kgf e a secção em  $\text{dm}^2$ , a força específica média será obtida em  $\text{kgf}/\text{dm}^2$ .

#### 4 - RESULTADOS OBTIDOS

Os dados obtidos nos ensaios definitivos de campo, em solo de classe textural argila, para as 4 velocidades ensaiadas,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$ , são apresentados nos QUADROS 2 a 5. Para o solo de classe textural areia, encontram-se nos QUADROS 6 a 9.

Os dados de velocidade foram obtidos, cada um de uma única observação, e os demais, para umidade e áreas das seções de corte, são valores médios de repetições dentro da parcela. O valor da componente longitudinal do esforço tratório é médio, calculado pela integração de área.

QUADRO 2 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural argila, para a velocidade  $V_1$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	2,86	29,47	17,60	1.335	75,85
2	2,90	29,23	18,43	1.155	62,67
3	2,84	27,87	18,40	1.455	79,08
4	2,90	28,84	16,06	1.080	67,25
5	2,83	28,90	14,50	1.080	74,48
6	2,86	27,80	13,06	1.050	80,40

QUADRO 3 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural argila, para a velocidade  $V_2$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	3,56	30,55	15,53	1.230	79,20
2	3,69	28,66	17,23	1.425	82,70
3	3,58	27,97	17,50	1.440	82,29
4	3,71	28,03	13,86	1.245	89,83
5	3,67	27,81	12,93	1.185	91,65
6	3,73	26,88	16,06	1.410	87,80

QUADRO 4 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural argila, para a velocidade  $V_3$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	4,73	29,92	14,50	1.455	100,34
2	4,80	28,40	17,06	1.665	97,60
3	4,61	27,97	15,06	1.515	100,60
4	4,83	28,58	11,93	1.170	98,07
5	4,77	27,62	19,06	1.830	96,01
6	4,70	28,30	17,70	1.635	92,37

QUADRO 5 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural argila, para a velocidade  $V_4$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	6,79	29,62	17,40	1.455	83,62
2	6,66	27,35	17,80	1.560	87,64
3	6,60	27,36	16,13	1.545	95,78
4	6,66	28,79	18,33	1.530	83,47
5	6,60	26,90	17,20	1.470	85,47
6	6,60	27,86	16,83	1.335	79,32

QUADRO 6 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural areia, para a velocidade  $V_1$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	2,84	9,05	10,23	660	64,52
2	2,90	7,26	11,33	690	60,90
3	2,83	9,81	15,20	855	55,25
4	2,89	7,91	13,50	870	64,44
5	2,82	8,49	15,13	1.095	72,37
6	2,81	7,61	12,03	870	72,32

QUADRO 7 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural areia, para a velocidade  $V_2$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratório kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	3,63	8,75	9,06	750	82,78
2	3,60	7,92	11,06	850	76,85
3	3,58	10,10	16,43	1.230	74,86
4	3,53	8,22	13,46	1.110	82,47
5	3,56	8,02	15,33	1.155	75,34
6	3,51	7,72	12,46	1.140	91,49

QUADRO 8 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural areia, para a velocidade  $V_3$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratorio kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	4,61	8,96	9,56	735	76,88
2	4,64	7,69	10,46	765	73,14
3	4,73	9,93	17,33	1.215	70,11
4	4,83	8,48	16,46	1.185	71,99
5	4,77	10,29	18,06	1.230	68,11
6	4,83	10,37	13,93	1.065	76,45

QUADRO 9 - Valores dos dados obtidos nos ensaios de campo, em solo de classe textural areia, para a velocidade  $V_4$ .

Repetições	Velocidade km/h	Umidade média %	Áreas médias das secções de corte-dm <sup>2</sup>	Valor médio da componente longitudinal do esforço tratorio kgf	Força específica média kgf/dm <sup>2</sup>
1	6,66	8,71	10,96	960	87,59
2	6,86	7,86	11,03	810	73,44
3	6,37	10,38	15,80	1.140	72,15
4	6,92	7,42	13,23	1.125	85,03
5	6,43	8,94	14,90	1.245	83,56
6	6,54	8,27	17,86	1.410	78,95

## 5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O efeito da variação da velocidade de deslocamento do arado sobre a força específica média foi avaliado através da análise estatística dos dados obtidos nos ensaios de campo.

Conforme se pode observar, houve uma significância ao nível de 1%, do efeito do aumento de velocidade sobre a força específica média em ambos os ensaios realizados em dois solos pertencentes a diferentes classes texturais.

As análises das variâncias, apresentadas nos QUADROS 10 e 11, revelaram-se significativas ao nível de 1% de probabilidade, nas condições dos ensaios. Isto autoriza concluir - se que houve efeito do aumento da velocidade sobre a força específica média, em ambos os solos utilizados. São apresentados os coeficientes de variação (C.V.) para cada um dos ensaios, os quais fornecem uma indicação da precisão com que foram realizados os experimentos.

Para a comparação das respectivas médias de tratamentos foi utilizado o teste de Tukey, cujos contrastes e níveis de significância são apresentados nos QUADROS 12 e 13.

QUADRO 10 - Análise da variância dos dados referentes ao efeito do aumento da velocidade de deslocamento do arado sobre a força específica média, em um solo de classe textural argila.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	1.765,34	588,45	19,87 **
Blocos	5	112,43	22,49	0,76
Resíduo	15	444,30	29,62	
Total	23	2.322,07		

$$C.V. = 6,36\%$$

QUADRO 11 - Análise da variância dos dados referentes ao efeito do aumento da velocidade de deslocamento do arado sobre a força específica média, em um solo da classe textural areia.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	983,78	327,93	16,77 **
Blocos	5	383,71	76,74	3,72
Resíduo	15	293,31	19,55	
Total	23	1.660,80		

$$C.V. = 5,92\%$$



QUADRO 12 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre duas médias de tratamentos obtidas dos dados do ensaio no solo de classe textural argila.

Contrastes das médias	Diferenças	Significância
$\hat{m}V_3 - \hat{m}V_1$	97,50 - 73,29	24,21**
$\hat{m}V_3 - \hat{m}V_2$	97,50 - 85,58	11,92**
$\hat{m}V_3 - \hat{m}V_4$	97,50 - 85,88	11,62*
$\hat{m}V_2 - \hat{m}V_1$	85,58 - 73,29	12,29**
$\hat{m}V_4 - \hat{m}V_1$	85,88 - 73,29	12,59**
$\hat{m}V_4 - \hat{m}V_2$	85,88 - 85,58	0,30

Valores dos D.M.S.: 5% - 9,06  
1% - 11,66

QUADRO 13 - Comparação, pelo teste de Tukey, entre duas médias de tratamentos obtidas dos dados do ensaio no solo de classe textural areia.

Contrastes das médias	Diferenças	Significância
$\hat{m}V_2 - \hat{m}V_1$	80,63 - 64,97	15,66**
$\hat{m}V_2 - \hat{m}V_3$	80,63 - 72,78	7,85*
$\hat{m}V_2 - \hat{m}V_4$	80,63 - 80,12	0,51
$\hat{m}V_4 - \hat{m}V_1$	80,12 - 64,97	15,15**
$\hat{m}V_4 - \hat{m}V_3$	80,12 - 72,78	7,34
$\hat{m}V_3 - \hat{m}V_1$	72,78 - 64,97	8,81*

Valores dos D.M.S.: 5% - 7,36  
1% - 9,47

Conforme foi estabelecido anteriormente, a análise da variância autoriza afirmar-se que houve um efeito altamente significativo da velocidade de aração sobre a força específica média. Os dados constantes dos QUADROS 2 a 9 sugerem que se pode relacionar, para ambas as classes texturais de solos, um provável aumento no valor da força específica média com o aumento da velocidade de operação. Isto resultará, em última análise, num aumento da componente longitudinal do esforço tratório com o aumento da velocidade, confirmando as observações em experimentos de campo de McKIBBEN (1952), PAYNE (1956), DAVIDSON, FLETCHER e COLLINS (ROWE, 1959), JOHNSTON e BIRTWISTLE (1963) e MIALHE e SILVEIRA (1971).

A comparação entre as médias de tratamentos, pelo teste de Tukey, apresentou para o solo de classe textural argila (QUADRO 12) diferenças altamente significativas para quatro contrastes, dos seis conseguidos. O contraste entre  $mV_3$  e  $mV_4$  foi o único que apresentou significância apenas significativa, cuja diferença foi de 11,62, sendo que o valor  $\Delta$  calculado para o nível de 1% foi 11,66, observando-se uma diferença bastante pequena (0,04) para que também fosse altamente significativa. Finalmente, a comparação entre as médias  $mV_4$  e  $mV_2$  não apresentou nenhuma significância. Verifica-se que da velocidade  $V_1$  para a  $V_2$  houve um aumento de 26,22%, da velocidade  $V_2$  para  $V_3$ , o aumento para a força específica média foi de 16,76%, e da velocidade  $V_3$  para  $V_4$  o aumento foi de 13,93% para o acréscimo na força específica média. Entretanto, da velocidade  $V_3$  para a  $V_4$  não se apresentou nenhum aumento como era de se esperar. Isto pode, provavelmente,

te, ser explicado por ser o solo um material anisotrópico , com variações de suas propriedades mecânicas seguindo as diversas direções.

Considerando-se as comparações das médias de tratamentos do ensaio realizado em solo de classe textural areia (QUADRO13) , dois contrastes apresentaram-se altamente significativos (1%) e dois outros, apenas significativos (5%). Na comparação das médias de  $V_4$  e  $V_3$  , a diferença obtida foi de 7,34 , sendo que o valor  $\Delta$  calculado para o teste de Tukey foi de 7,36 , verificando-se uma diferença bastante reduzida (0,02) para uma significância ao nível de 5%. Finalmente, o contraste de  $\hat{m}V_2$  e  $\hat{m}V_4$  não acusou nenhuma diferença significativa. Observando-se o aumento da velocidade de  $V_1$  para  $V_2$ , verificou-se um aumento de 26,22%, para um acréscimo de 24,10% na força específica média. Da velocidade  $V_3$  para  $V_4$ , uma elevação de 40,00%, para 10,24% na força específica média.

TELISCHI, McCOLLY e ERICKSON (1956) observaram que a função  $y = f(x)$ , onde  $y$  é a componente longitudinal do esforço tratório e  $x$  a velocidade de deslocamento, tende para uma reta particular do tipo  $y$  igual a uma constante para o solo arenoso ou solo com teor de umidade baixo. Para os solos arenosos e argilosos, ROWE (1959) encontrou, para a mesma função, dentro das velocidades estudadas, a variação linear do tipo  $y = ax + b$  , com  $a$  e  $b$  diferentes de zero.

Tendo-se em vista os resultados anteriores e considerando-se a configuração de uma série de gráficos preliminares traçados com os dados obtidos no presente trabalho, num par de eixos ortogonais com escala linear, resolveu-se admi-

tir a função  $K = f(v)$ , onde  $K$  é a força específica média e  $v$  a velocidade de deslocamento, como sendo linear do tipo  $K = mv + b$ . Essa escolha atende também às dificuldades de se obter no campo uma faixa ampla de valores de velocidade que pudesse definir uma outra forma de ajustagem, principalmente para valores de  $v$  abaixo e acima dos estudados.

Nos QUADROS 14 e 15 estão os parâmetros referentes à ajustagem das curvas de regressão, com seus coeficientes de variações, para os solos de classes texturais argila e areia, respectivamente.

Na FIGURA 11 constam, em gráfico, as retas ajustadas, assim como os pontos referentes às médias das repetições. As equações encontradas foram :

- para o solo classe textural argila :

$$K = 3,16v + 71,11$$

- para o solo de classe textural areia :

$$K = 2,64v + 62,88$$

O nível de significância de 5% obtido para os dois solos de diferentes classes texturais, considerando-se as limitações impostas pelo campo, para se conseguir uniformidade nos ensaios, pode ser tido como satisfatório.

Os coeficientes de variação obtidos, maiores para o solo de classe textural argila, são justificáveis tendo-se em vista a maior dificuldade de se estabelecer o comportamento desse solo, principalmente aceitando-se pequenas flutuações no teor de umidade no solo.

QUADRO 14 - Análise da variância da regressão linear para o solo de classe textural argila.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	484,54	484,54	5,40*
Resíduo	22	1.975,23	89,78	
Total	23	2.459,77		

$$\text{C.V.} = 11,11\%$$

QUADRO 15 - Análise da variância da regressão linear para o solo de classe textural areia.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	342,16	342,16	5,75*
Resíduo	22	1.308,21	59,46	
Total	23	1.650,37		

$$\text{C.V.} = 10,33\%$$

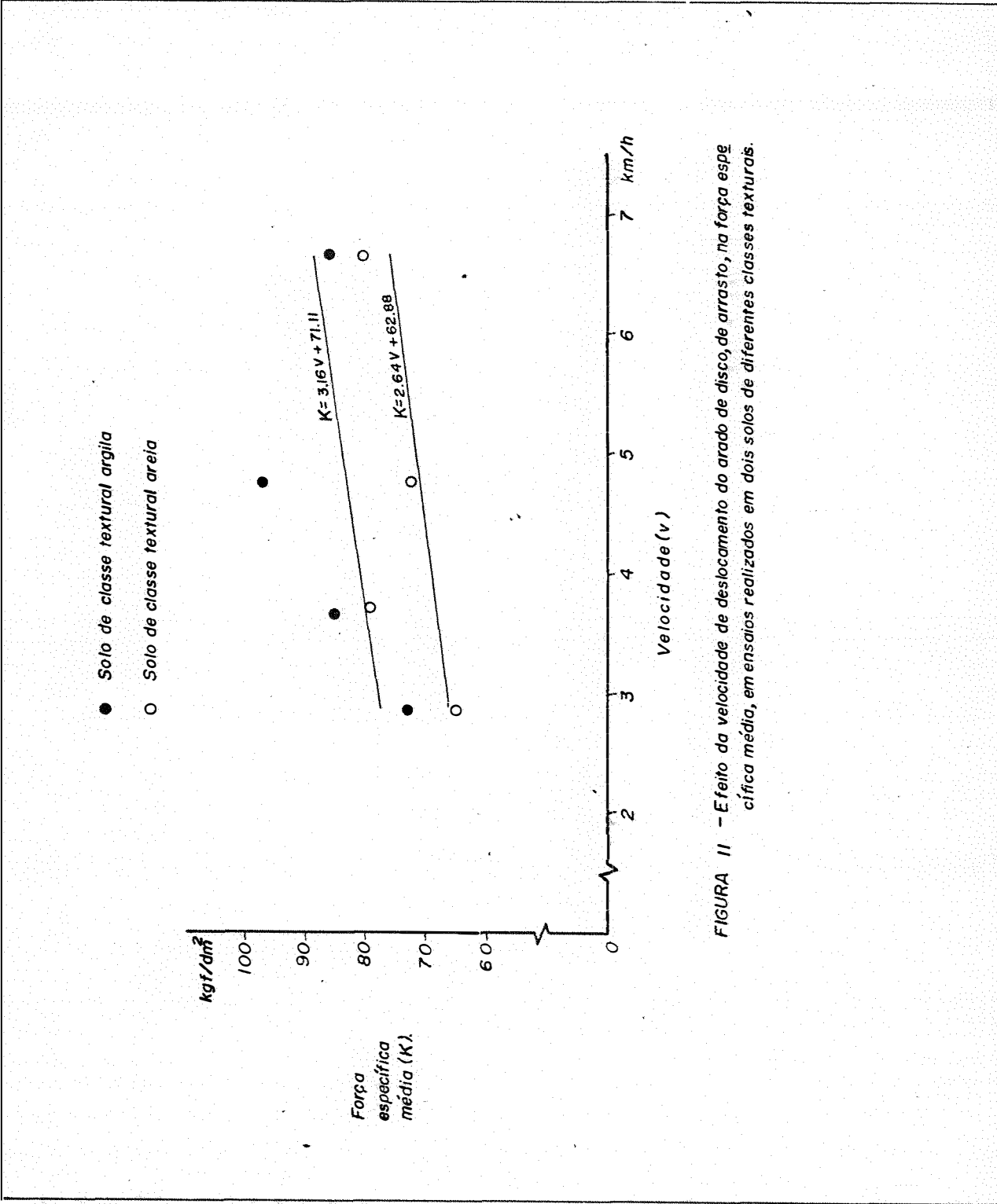


FIGURA II - Efeito da velocidade de deslocamento do arado de disco, de arrasto, na força específica média, em ensaios realizados em dois solos de diferentes classes texturais.

As retas ajustadas revelam que o solo de classe textural areia sempre oferece uma força específica menor. Os declives positivos obtidos, maiores para o solo de classe textural argila, mostram que a velocidade de deslocamento influi na força específica média, sendo essa influência mais pronunciada para o solo de classe textural argila. Vale considerar que este resultado fora obtido por PAYNE (1956), empregando outro tipo de ferramenta para abrir o sulco.

De maneira geral, para as condições dos ensaios, o solo de classe textural argila apresentou um aumento aproximadamente 20% maior, para a força específica média exigida, do que no solo de classe textural areia, para a faixa de variação de velocidade estudada.

## 6 - CONCLUSÕES

Para as condições em que os ensaios foram desenvolvidos, os resultados obtidos, após uma análise e interpretação estatística, permitiram chegar-se às seguintes conclusões:

a - O aumento da velocidade de deslocamento do arado provoca um conseqüente acréscimo na exigência da força específica média, o que, em última análise, representa um aumento na componente longitudinal do esforço tratório.

b - Para as velocidades ensaiadas, nos dois solos, a força específica média exigida foi sempre maior no solo de classe textural argila.

c - Para as mesmas gamas de aumentos de velocidade, os acréscimos de forças específicas médias foram, em média, 20%



maiores para o solo de classe textural argila.

d - Para o solo de classe textural argila estabeleceu-se a função  $K = 3,16v + 71,11$  (C.V. 11,11%) como a mais indicada para se avaliar a força específica média esperada em função da velocidade, sendo  $v$  em km/h e  $K$  em  $\text{kgf/dm}^2$ .

e - Para o solo de classe textural areia estabeleceu-se a função  $K = 2,64 v + 62,88$  (C.V. = 10,33%) como a mais indicada para se avaliar a força específica média esperada em função da velocidade, sendo  $v$  em km/h e  $K$  em  $\text{kgf/dm}^2$ .

f - Os valores apresentados são limitados às variações de velocidade estudadas e às condições do presente ensaio. Essas limitações, acrescidas das dificuldades em se controlar as variáveis em condições de campo, sugerem que a ampliação da faixa ensaiada, com melhor definição das relações entre os parâmetros envolvidos, somente poderão ser obtidas em laboratório, em caixas ou tanques de solos.

g - O presente trabalho, tendo levado em consideração apenas a influência da velocidade sobre a força específica média, sem considerar o efeito da energia sobre o solo, sugere que investigações mais amplas devam ser realizadas visando a avaliar o efeito desse aumento sobre as características físicas do solo, efeito esse que tem grande importância no desenvolvimento das culturas.

7 - RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o propósito de estudar o efeito do aumento de velocidade sobre os valores da componente longitudinal do esforço tratório. Foi usado um arado de discos, de arrasto. Para a medição da componente longitudinal do esforço tratório foi utilizado um dispositivo de acoplamento na barra do trator, onde foi inserido um dinamômetro eletromecânico PIAB.

Os ensaios foram realizados, em condições de campo, em dois solos de diferentes classes texturais: argila e areia. O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso com 6 repetições. As velocidades de deslocamento foram em número de 4 : 2,86 km/h , 3,61 km/h , 4,74 km/h e 6,64 km/h.

Nas condições em que foram realizados os ensaios, determinaram-se duas equações:  $K = 3,16v + 71,11$ , para o solo de classe textural argila, e  $K = 2,64v + 62,88$ , para o solo de classe textural areia, sendo  $K$  = força específica média e  $v$  = velocidade de deslocamento.

Os ensaios realizados, após análise e interpretação estatística, permitiram chegar-se às seguintes conclusões:

a - O aumento da velocidade de deslocamento do arado provoca um conseqüente acréscimo na exigência da força média específica.

b - Para as velocidades ensaiadas, nos dois solos, a força específica média exigida foi sempre maior no solo de classe textural argila.

c - Para os mesmos aumentos de velocidade, os acréscimos de forças médias específicas foram 20% maiores para o solo de classe textural argila.

8 - SUMMARY

The present work was made with the purpose of studying the effect of speed increase on the values of draft. It was used a trailed disk plow. For the draft measurements it was used a coupling device in the drawbar, where it was inserted an electromechanical dynamometer PIAB.

The tests were carried on field conditions, in two soils of different textural classes: clay and sand.

The statistical design was a random block with six replications. Four speeds were used: 2,86 km/h, 3,61 km/h, 4,74 km/h and 6,64 km/h.

Under test conditions, two equations were determined:  
 $K = 3,16v + 71,11$  for the clay textural class soil and  
 $K = 2,64v + 62,88$  for the sand textural class soil ,

Where  $K$  = mean specific force and

$v$  = speed .

After statistical analysis and interpretation of the data the following conclusions were achieved:

a - An increase in the speed of the plow causes a consequent increase in the required mean specific force.

b - For speeds tested, in both soils, the required mean specific force was always greater in the clay textural class soil.

c - For the same speed increase, the mean specific force increase were 20% greater for the clay textural class soil.

9 - BIBLIOGRAFIA CITADA

COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Boletim nº 12. 1960. 634 p.

GETZLAFF, G. e SOHNE, W. Forces and power requirement of freely rotating and driven plough discs on hard, dry, clayey loam. (Kräfte-und Leistungsbedarf frei drehender un angetriebeber Pflugscheiben auf hartem trockenem, tonigem Lehm. Silsoe, National Institute of Agricultural Engineering, translation 106. 1959. 22 p.

GORDON, E. D. Physical reactions of soil on plow disks. Agricultural Engineering. 22 (6):205-208. 1941.

- JOHNSTON, R.C.R. e BIRTWISTLE, R. Wheatland disc plough investigations. II. Discs forces. Journal of Agricultural Engineering Research. 8 (4):312-326. 1963.
- LARSON, L.W.; LOVELY, W.G. e BOCKHOP, C.W. Predicting draft forces using model moldboard plows in agricultural soils. Transactions of the ASAE 11:665-668. 1968.
- LEME, H.A. Influência da profundidade de aração no coeficiente de resistência dos solos ao trabalho do arado de discos. Revista de Agricultura (Piracicaba, SP) 28(5-6):189-198. 1953.
- McKIBBEN, E.G. and REED, I.F. The influence of speed on the performance characteristics of implements. Paper presented at SAE National Tractor Meeting (Mimeo. rept.) Milwaukee, Wisconsin. Sept. 1952. 5 p.
- MIALHE, L.G. e SILVEIRA, G.M. Dinamometria de arados de discos, de arrasto, em solos arenosos - ensaios preliminares. Revista "O Solo" (Piracicaba, SP) 1:67-70. 1971.
- OMETTO, D.A. Influência da umidade do solo no trabalho do arado e no coeficiente de resistência. Tese de Doutorado. Piracicaba, SP, Brasil, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1957. 46 p. (mimeo.)
- PAYNE, P.C.J. The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. Journal of Agricultural Engineering Research 1 (1):23-50. 1956

- PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 4a. ed. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1970. 430 p.
- ROWE, R.J. Effect of speed on the elements of draft of a simple tillage tool. M.S. Thesis. Iowa State College. Ames, Iowa. 1959. 94 p.
- ROWE, R.J.; BARNES, K. K. Influence of speed on elements of draft of a tillage tool. Transactions of the ASAE 4(1):55-57. 1961.
- TELISCHI, B.; McCOLLY, H.F. e ERICKSON, E. Draft measurement for tillage tools. Agricultural Engineering 37(9):605-608, 617. 1956.