

## TRATORES DE TRACÇÃO EM QUATRO RODAS

### Estudo Preliminar Comparativo de Tração em Duas e Quatro Rodas

L.G. Mialhe\*  
T.C. Ripoli\*\*  
I.S. Melo \*\*\*

#### RESUMO

O problema de incrementar a eficácia da conversão da potência no motor em potência na barra, ultimamente vem-se tornando de importância cada vez maior, em face de dois fatores principais: a) a atual crise do suprimento de combustíveis derivados do petróleo e b) a tendência no aumento da potência dos motores dos tratores, em face dos avanços tecnológicos, que se verificam na moderna agricultura empresarial. A tração de 4 rodas tem sido uma das soluções que vem sendo, cada vez mais, adotadas no mundo todo. No Brasil, até presentemente, nenhum trabalho foi realizado visando avaliar o comportamento comparativo de tração em 2 e 4 rodas, sob condições típicas de nossos solos.

Procurou-se, neste trabalho, efetuar essa avaliação, em solo Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras, de significativa distribuição nas áreas cultivadas do Estado de São Paulo. Nos ensaios de campo, empregou-se um trator de 136 cv na TDP, equipado com 2 eixos motrizes. Foram realizadas 2 séries de ensaios; a primeira com tração em ambos os eixos e a segunda, com tração apenas no eixo traseiro. Os resultados obtidos indicam uma significativa vantagem para a tração em 4 rodas.

#### SUMMARY

The problem transmitting the high engine power to the tractor drawbar has been of increasingly importance, mainly because two factors: a) the present crisis of supplying fuel derivative from petroleum, and b) the trend to increase the engine advance of the modern enterprise agriculture. The four-wheel drive tractor has been the most employed overall the world. In Brasil, until presently, no work was carried out with the objective of evaluating the comparative performance of two and four wheel drive tractors, under out typical soil conditions.

In this study, one tried to carry out that evaluation in Red-Yellow prodzolic soil, Laras variation, significantly overpread in the cultivated areas of the State of São Paulo. In field trials, a four-wheel drive tractor of 136 hp. at PTO was employed. Two test trials were carried out: the first with the traction in both axles and the second, with the traction in the rear axle. The results obtained show a significant advantage for the four-wheel drive tractor.

- 
- (\*) Professor Assistente Dr. do Departamento de Engenharia Rural - ESALQ - e Consultor de Mecanização Agrícola do PLANALSUCAR/IAA - Piracicaba - SP  
(\*\*) Engenheiro Agrônomo. M.S. - Assistente Técnico da Supervisoria de Operações Agrícolas do PLANALSUCAR/IAA - Piracicaba - SP  
(\*\*\*) Engº Agrônomo, Técnico do C.N.E.A. - Fazenda IRANEMA-IPERÓ



## INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos que se verificam na moderna agricultura empresarial, tem levado, o mundo todo, a uma tendência no aumento da potência dos motores dos tratores. Ao analisar-se a evolução da indústria nacional de tratores, verifica-se que essa tendência também atingiu nosso País. Todavia, enquanto no Exterior foram desenvolvidos sistemas que utilizam todo o rodado para tração, no Brasil a tração em 4 rodas surgiu recentemente, apenas nos chamados "tratores gigantes."

O desenvolvimento de sistemas de tração em 4 rodas, porém, representa um significativo empreendimento na melhoria do desempenho dos tratores agrícolas de qualquer porte. Sabe-se que a tração 4 x 4 nasceu do conceito de trator-tandem, desenvolvido por BUCHELE & COLLINS (1958). Posteriormente, os trabalhos de LAWSON (1959), de GERMAN (1959) vieram demonstrar o desempenho superior dos tratores em tandem, comparativamente com os tratores 4 x 2, tanto do ponto de vista de eficácia na conversão da potência-no-motor em potência-na-barras, como do ponto de vista dos benefícios econômicos. Posteriormente, a idéia dos tratores-tandem evoluiu para a dos tratores de tração 4 x 4.

Inúmeros estudos foram feitos, comparando o desempenho de tratores com tração em 2 e 4 rodas, sob várias condições de solo, destacando-se os de SOUTHWELL (1967), no Canadá, e os de OSBORNE (1971) e de DWYER & PEARSON (1976), na Inglaterra. Ficou comprovado, nesses trabalhos, que a tração 4 x 4 resulta em aumentos da capacidade tratorizada da ordem de 17 a 130%, dependendo do tipo de solo, do tipo de rodado e das condições de lastragem, em relação a tratores de mesmo porte com tração 2 x 4.

Dadas as características típicas da cultura canavieira, ela tem sido uma das mais exigentes em tração, notadamente nas operações de preparo do solo, plantio e cultivo de soqueiras, resultando, daí, o interesse especial da tração 4 x 4 nas operações agrícolas dessa cultura. A inexistência, até a presente data, de qualquer informação sobre tração em 4 rodas em nossos solos, o interesse do PLANALSUCAR/IAA em introduzir inovações tecnológicas na área de mecanização agrícola canavieira e a oportunidade da vinda, ao Brasil, de um trator com tração 4 x 4, de peso e potência convenientes às empresas rurais canavieiras, trazido da Itália através de Convênio FAO-Ministério da Agricultura, determinaram a oportunidade para execução deste trabalho preliminar de estudo comparativo entre tração 4 x 4 e 2 x 4.

## MATERIAL E MÉTODO

### Trator

Trata-se de um trator Fiat, modelo 1.300 DT Super, nº de série 932.195, cujas principais características técnicas são as seguintes:

- a) Motor: Diesel, 4 tempos, injeção direta, 6 cilindros em linha, 110 mm de diâmetro e 130mm de curso, 7412cm<sup>3</sup> de cilindrada, com potência máxima de 135,5 cv/2415 rpm e torque máximo de 48,1 m.kgf/1335 rpm.
- b) Transmissão: embreagem monodisco de 355,6mm de diâmetro, caixa de transmissão com 12 velocidades a vante e 4 a ré. As velocidades a vante são reunidas em 3 grupos de 4 marchas (1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup>, 3.<sup>a</sup> e 4.<sup>a</sup>), a saber: lenta, média e rápida.
- c) Peso do Trator:

	Sem Lastro d'Água nos Pneus	Com Lastro d'Água nos Pneus
Eixo dianteiro .....	2.532 kg	2.740 kg
Eixo trazeiro .....	3.327 kg	4.040 kg
TOTAL	5.859 kg	6.780 kg



	Sem Lastro d'Água nos Pneus	Com Lastro d'Água nos Pneus
Operador .....	75 kg	75 kg
	<u>5.934 kg</u>	<u>6.855 kg</u>
d) Rodados: Eixo dianteiro: pneus 12.4 - 28; 6 lonas, pressão de insuflagem 20 psi (com 3/4 d'água)		
Eixo trazeiro: pneus 18.4 - 38,8; 8 lonas, pressão de insuflagem 15 psi (com 3/4 d'água)		
e) Perímetro eficaz <sup>1</sup> : rodas dianteiras: direita		38,35 m/10 giros
esquerda		38,14 m/10 giros
	Média	<u>3,8245 m/ giro</u>
rodas trazeiras: direita		51,72 m/10 giros
esquerda		52,75 m/10 giros
	Média	<u>5,2235 m/ giro</u>

### Terreno de Ensaio

O terreno utilizado nos ensaios, pertencente ao CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola, localiza-se no Campo do Mursa - Fazenda Ipanema. Apesar de o terreno representar uma declividade de 0,5 a 2,0%, tomou-se o cuidado de marcar as faixas de ensaio em nível. Trata-se, segundo RAZANI *et alii* (1965), de um Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras, série Mursa, com horizonte Alp barro (barrento) pardo avermelhado (5 YR 5/3, pardo escuro 7,5 YR 4/4 úmido) cuja análise granulométrica consta do quadro abaixo.

Horizonte	Profundidade (cm)	Análise mecânica (mm) - Z - pipeta - NaOH - USDA							Da (g/cm <sup>3</sup> )	Tensão	
		Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Limo	Argila		1/2 at	15 at
A 1 p	0 - 15	1,2	3,6	8,4	31,0	0,3	45,5	10,0	1,6	12,0	6,5
A 1 2	15 - 30	1,4	4,1	8,2	29,4	10,8	36,1	10,0	1,6	11,9	5,8

Antes da realização dos ensaios, o terreno sofreu uma gradagem cruzada pesada, a fim de incorporar a vegetação de cobertura e, a seguir, uma gradagem de nivelamento. Assim, as condições superficiais do solo para os ensaios foram semelhantes àquelas encontradas por ocasião do sulcamento para plantio de cana-de-açúcar.

No decorrer dos ensaios, foram retiradas amostras de solo, na superfície do terreno (0 - 10cm de profundidade) para determinação do teor de umidade. Os resultados são fornecidos abaixo:

Nº da Amostra	% de Umidade do Solo (Base Seca)
1	11,06
2	15,08
3	8,87
4	12,35
5	19,59
Média =	<u>13,39</u>

(<sup>1</sup>) Perímetro medido no campo, diretamente sob condição de ensaio, utilizado para cálculo do patinamento.



Tendo em vista que o potencial do solo para tração depende do ângulo de atrito interno -  $\Phi$  e do coeficiente de coesão  $c$ , esses parâmetros foram avaliados através de um Cohron sheargraph, conforme metodologia descrita por COHRON (1963) e por BAILEY & WEBER (1965). Os resultados médios, de 10 determinações, feitos diretamente no rasto dos pneus do trator, foram:

Coeficiente de Coesão:

- Valor de "pico" .....  $C_1 = 27,54 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$
- Valor de "escoamento" .....  $C_2 = 20,71 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2$

Ângulo de Atrito Interno: .....  $\Phi = 33^{\circ}21'$

Teor de Umidade do Solo: .....  $u = 20,33\%$

A resistência do solo, a penetração foi determinada através de um penetrometro de ponta cônica de  $30^{\circ}$ , com  $0,5 \text{ pol}^2$  de área de ação, aplicado conforme a Recomendação ASAE R 313 (1975). Os resultados médios, de 20 determinações feitas ao longo do percurso de ensaio (fora do rasto do trator), foram:

Índice do Cone:

- a 9,1cm de profundidade .....  $0,43 \text{ kgf/cm}^2$
- a 14,2cm de profundidade .....  $1,12 \text{ kgf/cm}^2$

Teor de Umidade do Solo (5 - 10cm de profundidade) .....  $20,33\%$

### Equipamento de Mensuração

Além dos equipamentos de caracterização do terreno, já mencionados anteriormente, foram utilizados, no presente trabalho, um instrumento de dinamometria e equipamentos auxiliares (balanças, trenas, nível, manômetro, máquina de tração, estufa etc.). Dada à sua maior importância, a seguir serão descritos apenas os componentes do instrumental de dinamometria, da marca Kyowa, de procedência japonesa.

Adotando-se a sistemática preconizada por BECKWITH & BUCK (1961), o sistema de mensuração utilizado é constituído pelos elementos mostrados, esquematicamente, na Figura 1.

Para mensuração da força de tração, utilizou-se, como elemento detector-transdutor, uma célula de carga equipada com ponte de extensômetros, de temperatura compensada e capacidade de 5.000 kgf. A fim de evitar que possíveis "picos" de carga fossem aplicados diretamente na célula, projetou-se um dispositivo mecânico de divisão de força. Devido ao peso desse conjunto, inclusive projetado para esforços da ordem de 30 tf, além da necessidade de mantê-lo livre da interferência de momentos e reações parasitas, o dispositivo foi montado numa carreta-portadora, suspensa através de correntes e vinculada à barra de tração do trator, por meio de cabo de aço, juntamente com o engate rápido do cabeçalho da carreta. A Figura 2 mostra, em planta, os componentes da carreta-portadora e o dispositivo divisor de força.

Além dessa função principal, a carreta-portadora serve de suporte ao gerador de corrente (110 V - CA/1500 watts), que alimenta os equipamentos de amplificação e registro dos sinais. Uma de suas rodas opera como medidor de distância real percorrida no campo ("roda odométrica").

As cargas aplicadas na célula provocam deformação em seus elementos sensíveis (ponte de "strain gauge") e provocam o aparecimento de uma diferença de potencial proporcional à deformação e, consequentemente, à carga aplicada. Esse sinal, em corrente pulsátil com frequência de 5 KHz, é recebido num amplificador que o introduz numa onda portadora de frequência modulada e o amplifica. O sinal analógico, após amplificado de maneira controlada através das ajustagens de ganho e atenuação do amplificador, é injetado num gravador de fita magnética (tipo "cassete").

O número de giros das rodas do trator e da carga-portadora foi registrado através de um comutador rotativo, acoplado ao eixo da roda e ligado a um circuito ponte abaixadora de tensão, alimentado por pilha seca de 1,5 V. O esquema

BIBLIOTECA - UFRB  
CAMPUS VII - PATOS - PB



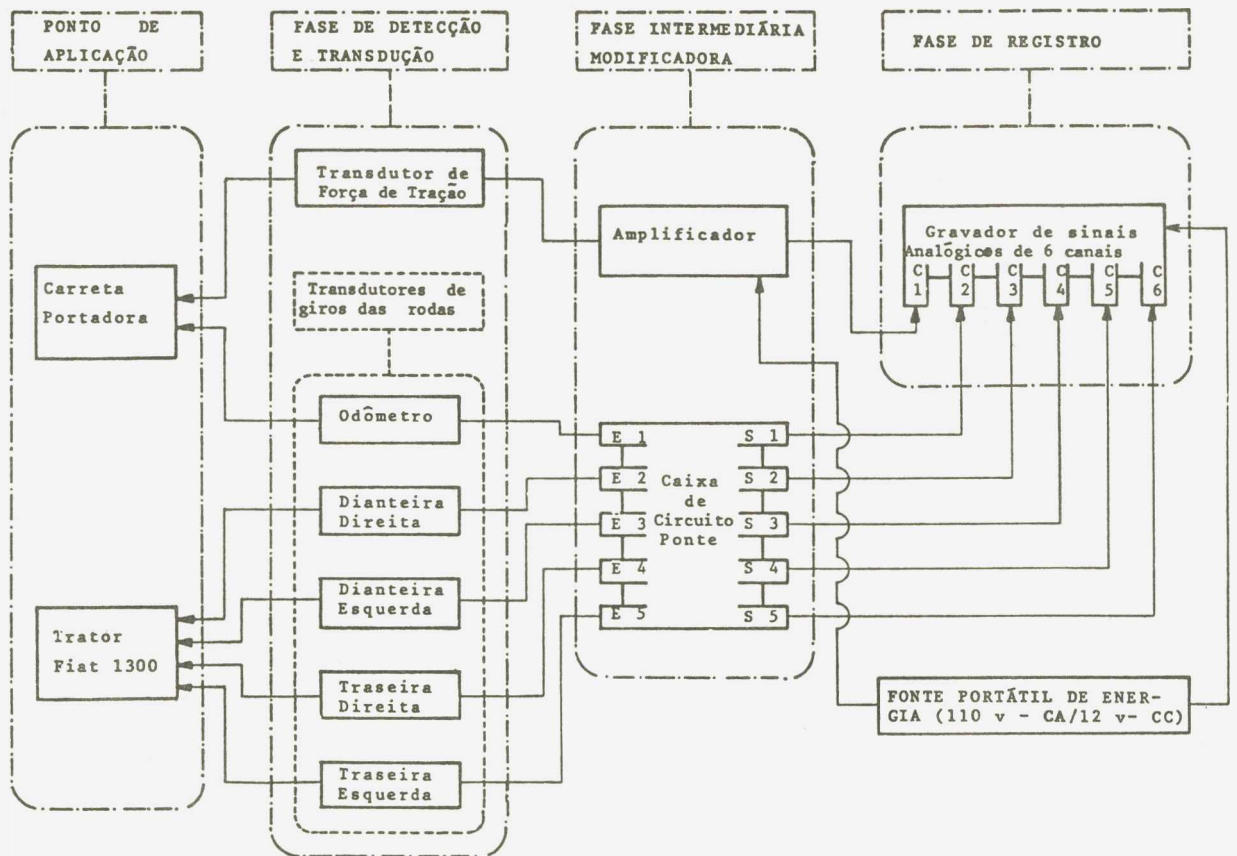


FIGURA 1 - Diagrama de Blocos dos Componentes do Sistema de Mensuração utilizado nos Ensaios.

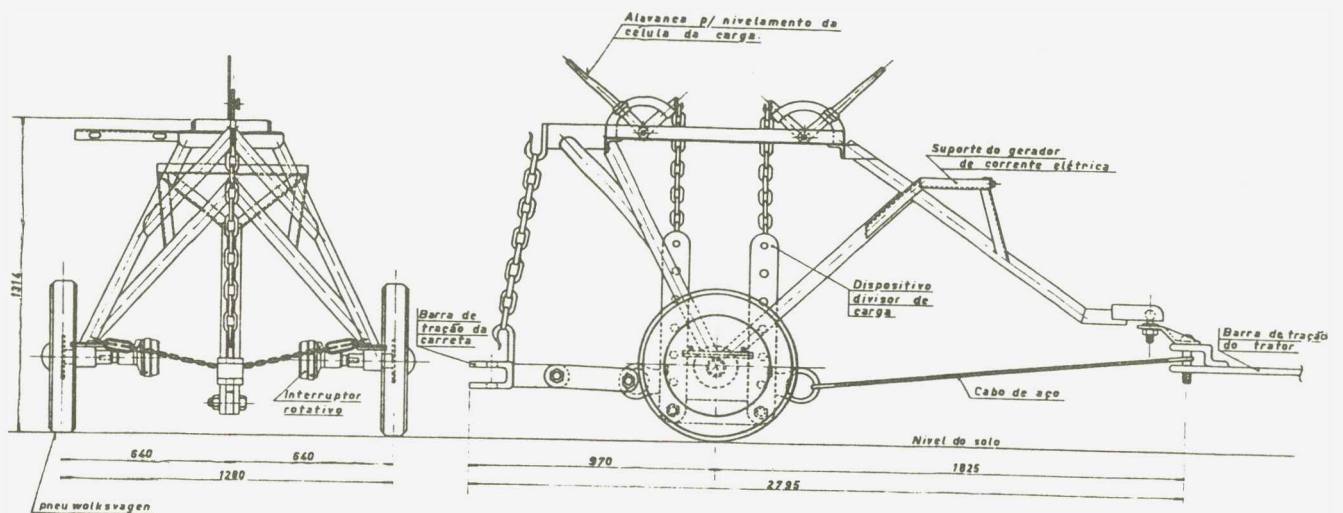


FIGURA 2 - Carreta-Portadora da Célula de Carga e Dispositivo Divisor de Força.



da Figura 3 ilustra esse circuito.

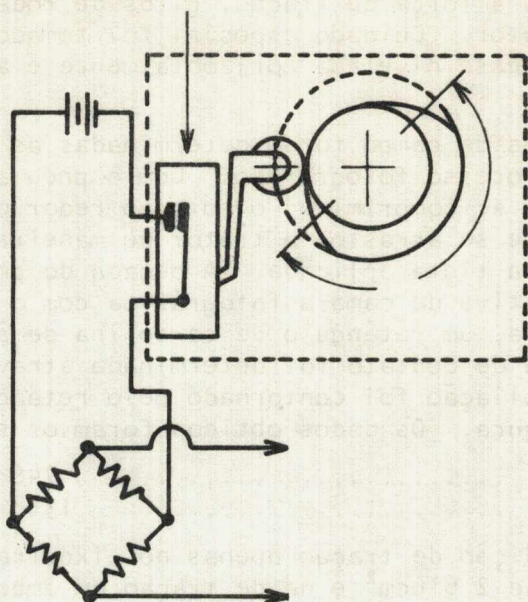


FIGURA 3 - Circuito do Indicador de Giro das Rodas

A cada giro da roda o comutador interrompe a corrente durante  $180^{\circ}$ , resultando na saída da ponte uma onda quadrada, que é injetada no gravador de fita magnética.

Após haver sido feita a gravação no campo, o equipamento é levado ao laboratório e acoplado num oscilógrafo. Os sinais gravados na fita magnética são reproduzidos na forma de gráficos, traçados pelas penas do oscilógrafo numa fita de papel. No canal de gravação correspondente à célula de carga, as deflexões correspondem às variações de cargas observadas no ensaio de campo. Nos canais relativos aos indicadores de giros das rodas obtém-se um gráfico típico de barras, correspondendo, cada uma, a  $180^{\circ}$  de giro das rodas. Combinando-se a velocidade de deslocamento do papel no oscilógrafo com o espaçamento entre 3 deflexões sucessivas, pode-se calcular o tempo decorrido por giro e, conseqüentemente, o espaço percorrido, desde que se conheça o perímetro eficaz da roda.

#### Método de Calibração do Sistema de Mensuração de Força

A calibração do sistema de mensuração de força foi executado numa máquina de tração Hosenhausenwerk UHP-6, com capacidade para 6 tf e escala de 20 em 20 kgf. A análise estatística dos dados obtidos resultou na seguinte equação de regressão:

$$y \text{ (kgf)} = 67,2269 + 6,8023 \times x \text{ (mm)} \quad r = 0,9458$$

onde  $y$  = carga aplicada na célula e  $x$  = deflexão da pena do oscilógrafo. Desde que, nos ensaios de campo, a célula ficou posicionada no dispositivo divisor de carga de maneira a receber apenas 1/3 do espaço desenvolvido na barra de tração, a equação de calibração toma a forma:

$$F = 3 (67,2269 + 6,9023 D)$$

sendo  $D$  a deflexão (em mm) e  $F$  a correspondente força de tração na barra.

#### Método de Ensaio de Campo

Os ensaios de campo constituíram, basicamente, em submeter-se o trator a



uma carga na barra de tração, através de uma unidade frenante representada por uma motoniveladora Huber-Warco e proceder-se o registro em fita magnética dos sinais analógicos relativos à força de tração, giros de roda odométrica e giros das rodas motrizes do trator. Cuidado especial foi tomado no sentido de que a linha de tração se mantivesse nivelada horizontalmente e alinhada com o plano médio do trator.

Durante os ensaios de campo foram determinadas as áreas de contato pneu-solo, utilizando-se de processo fotográfico. Com o pneu apoiado no terreno, pintou-se com um revólver, o ar comprimido, o solo ao redor da zona de contato pneu-solo; levantou-se o pneu e se arrastou o trator de maneira a deixar livre a área de contato delimitada pela tinta aplicada. A pegada do pneu foi fotografada procurando-se alinhar a objetiva da câmara fotográfica com o centro da área e se colocando, no interior desta, um retângulo de cartolina de área conhecida. Nas fotos assim obtidas, a área de contato foi determinada através de planímetro; o problema de escala de ampliação foi contornado pelo retângulo de área conhecida, colocado no centro da figura. Os dados obtidos foram os seguintes:

Rodas dianteiras .....	746 cm <sup>2</sup>
Rodas trazeiras .....	1308 cm <sup>2</sup>

Portanto, na condição de tração apenas no eixo trazeiro, a área de contato pneu-solo é da ordem de 2.616cm<sup>2</sup> e na de tração em ambos os eixos, essa área passa para 4.108cm<sup>2</sup>.

#### Método de Processamento dos Dados de Tração

Mesmo sob carga constante, a força desenvolvida na barra de tração não é uniforme, em virtude do caráter aniso-trópico do solo. Nessas condições, em cada determinação (estabelecida como o intervalo de tempo e distância correspondente a cada giro da roda odométrica, ao longo do percurso de ensaio), pode-se considerar:

- Força de tração máxima: Mais alto valor observado para a força de tração, no espaço de 1 giro da roda odométrica.
- Força de tração mínima: Mais baixo valor observado para a força de tração, no espaço de 1 giro da roda odométrica.
- Força de tração média: Força de tração obtida através de cálculo (média aritmética de todos os valores de "pico" máximo e mínimo, observados no gráfico, ao longo de 1 giro da roda odométrica) ou, então, através de planimetria da área sob a curva de força de tração (área sob a curva, dividida pela distância correspondente a 1 giro da roda odométrica).

Os valores das forças de tração máxima e mínima foram obtidos por mensuração das deflexões, nos gráficos do oscilógrafo, através de paquímetro com precisão de 0,05mm. Para a forma média, utilizou-se o planímetro quando as oscilações entre os níveis máximo e mínimo não eram tão bruscos de forma a dificultar o uso desse aparelho. Quando a frequência e intensidade essas flutuações eram elevadas, a mensuração foi realizada "ponto-a-ponto", com paquímetro.

#### Método de Processamento dos Dados de Giros das Rodas

Conforme já mencionado anteriormente, os giros de rodas são marcados por deflexões sucessivas no gráfico produzido pelo oscilógrafo. Desde que a velocidade do papel se mantém constante, e no caso desses ensaios, foi estabelecida a velocidade de 300mm/minuto, a distância entre o 1º e 3º traços (distância entre 1º e 2º, corresponde a 0 - 180° de giro e a distância entre 2º e 3º traços corresponde a 180 - 360° de giro da roda) varia em função do tempo que a roda consumiu para executar 360°. Logo, medindo-se essas distâncias (entre 1º e 3º traços entre 3º e 5º traços, entre 5º e 7º traços etc.) e correlacionando-as com a velocidade do papel, obtém-se os tempos consumidos em cada giro. A partir do períme



tro efetivo e do tempo consumido em cada giro da roda odométrica, chega-se à velocidade de deslocamento.

### Determinação do Patinamento dos Rodados e da Potência Desenvolvida na Barra-de-Tração

O patinamento dos rodados dos tratores é definido, de acordo com ZOZ (em 1972), pela seguinte equação:

$$P\% = 100 \frac{L_s - L_c}{L_s}$$

onde: P% = patinamento, em %  
Ls = distância percorrida sem carga, em m  
Lc = distância percorrida com carga, em m.

Uma vez que se adotou o critério de tomar cada giro da roda odométrica como base de cálculo dos elementos de cada determinação (força de tração, velocidade e potência), o patinamento das rodas motrizes do trator também deverá ser calculado no intervalo de tempo e espaço correspondente a 1 giro da roda odométrica. Logo, é necessário efetuar-se uma subdivisão do tempo-por-giro da roda do trator, de acordo com os respectivos tempo-por-giro da roda odométrica. Dividindo-se o perímetro eficaz da roda do trator pelos respectivos tempo-por-giro, obtêm-se a velocidade de deslocamento (em m/s) equivalente a uma situação sem carga que, ao ser multiplicado pela correspondente subdivisão do tempo (em função do tempo-por-giro da roda odométrica) fornece a distância percorrida sem carga-Ls. A distância percorrida com carga-Lc, é fornecida diretamente pelo perímetro eficaz da roda odométrica.

Com os dados de força de tração-FT (kgf) e de velocidade de deslocamento V (m/s), calcula-se a potência desenvolvida na barra-de-tração - N (cv) através de:

$$N \text{ (cv)} = \frac{F_t \text{ (kgf)} \times V \text{ (m/s)}}{75}$$

### RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nos ensaios de campo constam dos Quadros 1, 2, 3, 4, 5 e 6.



QUADRO 1 - Resultados obtidos em 1ª marcha reduzida lenta, com tração em ambos os eixos e alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Mín	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	400	1069	904	0,00	0,00	0,00	0,95	0,634	2,28	3,38	9,04	7,64
02	749	2757	2022	12,37	9,79	9,04	9,93	0,577	2,08	5,76	21,19	15,56
03	2355	3453	2804	33,50	34,95	27,60	30,33	0,459	1,65	14,41	21,13	17,16
04	2426	4142	3342	45,59	49,67	42,03	47,07	0,356	1,28	11,53	19,68	15,86
05	2753	4365	3585	50,17	54,45	44,57	53,05	0,325	1,17	11,93	18,92	15,54
06	2793	4371	3593	49,96	54,45	45,24	53,10	0,325	1,17	12,11	18,94	15,57
07	2804	4385	3577	53,44	57,66	51,05	54,49	0,304	1,09	11,38	17,80	14,50
08	2712	4228	3448	50,63	57,71	50,84	53,33	0,310	1,12	11,21	17,48	14,25
09	2581	4122	3444	51,83	48,93	50,52	55,37	0,304	1,09	10,45	16,68	13,96
10	2622	4383	3442	53,22	58,33	51,12	56,29	0,297	1,07	10,39	17,37	13,63
11	2714	4246	3534	50,96	58,46	49,68	54,64	0,309	1,11	11,18	17,49	14,56

Obs: R.D. = roda direita; R.E. = roda esquerda

QUADRO 2 - Resultados obtidos em 1ª marcha reduzida lenta, com tração apenas no eixo trazeiro a alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Mín	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	977	2195	1479	-	-	38,91	39,38	0,400	1,44	5,21	11,70	7,89
02	1136	1193	1171	-	-	6,93	7,16	0,610	2,20	9,25	9,71	9,52
03	1187	2367	1816	-	-	20,73	20,31	0,521	1,88	8,26	16,46	12,62
04	1275	2914	1767	-	-	30,45	30,20	0,459	1,78	7,80	17,83	10,81
05	1477	2538	1708	-	-	31,66	31,47	0,452	1,63	8,90	15,29	10,29
06	1667	2444	2199	-	-	33,84	33,52	0,433	1,56	9,62	14,11	12,70
07	1732	2965	2479	-	-	47,81	44,77	0,349	1,26	8,05	13,79	11,54
08	2259	2773	2483	-	-	51,77	46,79	0,329	1,18	9,90	12,16	10,89
09	2357	2883	2575	-	-	56,66	52,36	0,293	1,06	9,92	11,28	10,06



QUADRO 3 - Resultados obtidos em 2ª marcha reduzida lenta, com tração em ambos os eixos e alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Mín	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	902	3610	2304	24,63	27,43	16,21	36,14	0,667	2,40	8,02	32,11	20,49
02	2569	4285	3318	43,58	52,92	41,14	50,93	0,453	1,63	15,53	25,91	20,04
03	2955	4428	3685	52,92	62,03	51,08	58,91	0,360	1,30	14,17	21,24	17,69
04	2328	4399	3448	46,44	55,22	49,92	57,41	0,380	1,37	11,79	22,29	17,47
05	2446	4430	3524	52,04	59,64	47,61	57,41	0,374	1,35	12,19	22,08	17,57
06	2432	4161	3346	47,64	57,13	45,90	53,57	0,404	1,45	13,10	22,41	18,02
07	2734	4161	3461	48,76	58,68	48,24	54,70	0,390	1,40	14,23	21,65	18,00
08	2489	4171	3383	50,61	55,53	47,07	52,83	0,403	1,45	13,36	22,39	18,18
09	2487	4265	3342	48,67	56,62	45,53	55,92	0,411	1,48	13,65	23,39	18,32
10	2242	4010	3100	46,64	54,78	41,74	52,98	0,416	1,50	12,43	22,23	17,19
11	2651	4130	3387	50,54	53,76	45,40	52,96	0,416	1,50	14,69	22,89	18,79

QUADRO 4 - Resultados obtidos em 2ª marcha reduzida lenta, com tração em eixo trazeiro e alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Mín	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	1102	2236	1543	-	-	43,36	43,54	0,461	1,66	6,77	13,74	9,48
02	1161	2451	1658	-	-	27,33	26,40	0,601	2,16	9,30	19,63	13,29
03	1967	2730	2277	-	-	49,27	48,29	0,420	1,51	11,02	15,30	12,75
04	2106	3518	2854	-	-	60,49	60,15	0,321	1,16	9,02	15,08	12,22
05	2469	3122	2834	-	-	66,31	66,41	0,276	0,99	9,08	11,48	10,43
06	2095	2532	2288	-	-	50,61	50,01	0,407	1,47	11,37	13,74	12,42
07	1718	2500	2110	-	-	49,53	47,29	0,420	1,51	9,63	14,01	11,82
08	1870	2481	2106	-	-	47,41	43,86	0,443	1,59	11,04	14,66	12,44



QUADRO 5 - Resultados obtidos em 3ª marcha reduzida lenta, com tração em ambos os eixos e alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Min	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	951	1732	1289	8,20	7,16	1,63	4,61	0,981	3,53	12,43	22,65	16,26
02	2526	3165	2777	24,73	25,05	17,77	20,28	0,820	2,95	27,60	34,59	30,36
03	2548	3314	2926	31,31	33,28	25,39	28,46	0,735	2,65	24,99	32,50	28,67
04	2785	3489	3142	35,95	38,62	32,74	35,88	0,659	2,37	24,49	30,68	27,61
05	2502	3922	3118	37,60	39,41	32,08	35,86	0,659	2,37	21,99	34,48	27,40
06	2569	3816	2991	35,66	38,19	32,51	37,04	0,671	2,42	22,98	34,14	28,76
07	2555	3610	3067	36,76	37,92	31,47	36,05	0,671	2,42	22,86	32,30	27,44
08	2030	3589	2816	37,23	40,57	32,08	36,36	0,659	2,37	17,85	31,56	24,74
09	2179	3726	2957	39,98	41,33	35,08	38,93	0,630	2,27	18,32	31,32	24,84
10	2130	3765	3014	37,62	38,44	32,91	36,48	0,656	2,36	18,62	32,91	26,36
11	2271	3726	2961	36,04	37,92	31,59	33,50	0,687	2,47	20,80	34,13	27,12

QUADRO 6 - Resultados obtidos em 3ª marcha reduzida lenta, com tração apenas no eixo trazeiro e alavanca do acelerador na posição de débito máximo da bomba injetora.

Nº de Ordem	Tração observada na barra (kgf)			Patinamento (%)				Velocidade de deslocamento		Potência observada na barra (cv)		
				Eixo Frontal		Eixo Trazeiro						
	Min	Máx	Média	R.D.	R.E.	R.D.	R.E.	m/s	km/h	Mín	Máx	Média
01	1134	2587	1789	-	-	35,32	34,33	0,671	2,42	10,15	23,15	16,01
02	1289	2563	2148	-	-	39,14	38,62	0,624	2,25	10,72	21,31	17,87
03	1834	2726	2261	-	-	49,09	47,13	0,522	1,88	12,76	18,96	15,74
04	2020	2665	2321	-	-	59,21	51,77	0,448	1,61	12,07	15,93	13,89
05	2195	2673	2428	-	-	56,41	55,71	0,441	1,59	12,92	15,70	14,28
06	1602	2591	2276	-	-	54,61	52,45	0,476	1,71	10,17	17,09	14,46
07	1806	2269	2108	-	-	39,98	40,47	0,604	2,17	14,54	18,27	16,94
08	2028	2432	2222	-	-	45,56	43,79	0,562	2,02	15,21	18,24	16,65
09	2440	2801	2587	-	-	55,16	54,08	0,461	1,66	14,99	17,21	15,90
10	2303	2855	2577	-	-	57,05	55,89	0,448	1,61	13,77	17,06	15,29



ANÁLISE E DISCUSSÃO

Força de Tração Média Observada na Barra

A análise de variância da força média de tração observada na barra, em cada marcha, considerando-se como tratamentos a tração em ambos os eixos e apenas o trazeiro, apresentou os seguintes resultados:

a) 1.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	11,55**
Resíduo ...	18	-
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>-</b>

C.V. = 28,01%

Média para 2 eixos ( $T_{4x4}$ ): ..... 3.063,18 kgf

Média para eixo trazeiro: ( $T_{2x4}$ ): ..... 1.964,11 kgf

Relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  ..... 1,5596

b) 2.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	32,52**
Resíduo ...	17	-
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>-</b>

Média para 2 eixos ( $T_{2x4}$ ): ..... 3.299,82 kgf

Média para eixo trazeiro ( $T_{2x4}$ ): ..... 2.208,75 kgf

Relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  ..... 1,4940

c) 3.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	9,41
Resíduo ...	19	-
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>-</b>

C.V. = 16,06%

Média para 2 eixos ( $T_{4x4}$ ): ..... 2.823,45 kgf

Média para eixo trazeiro ( $T_{2x4}$ ): ..... 2.272,20 kgf

Relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  ..... 1,2426



A alta significância de F para as 3 marchas indica que, realmente, a tração 4x4 apresenta sensível vantagem sobre a tração 2x4. O decréscimo da relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  com o aumento da velocidade (marchas), mostra que a maior vantagem do uso de tração em ambos os eixos se verifica para marchas de menor velocidade.

De acordo com BEKKER (1960), o potencial de tração bruta, capaz de ser desenvolvida por rodados de tratores, é expresso por:

$$H_b = Ac - w \cdot \text{tang} \Phi$$

onde:

- $H_b$  = potencial de tração bruta (kgf)
- $A$  = área de contacto rodado-solo ( $\text{cm}^2$ )
- $c$  = coeficiente de coesão do solo (kgf/ $\text{cm}^2$ )
- $w$  = carga normal aplicada na área de contacto (kgs)
- $\Phi$  = ângulo de atrito interno do solo

A determinação do valor  $w$ , sob condições dinâmicas, implica em se conhecer a transferência de peso. Para tração apenas no eixo trazeiro, a avaliação da transferência de peso se baseia na teoria desenvolvida por McKIBBEN (1972) cuja determinação exige apenas o conhecimento da força desenvolvida na barra, a altura da linha de tração acima do plano de apoio das rodas e a distância entre eixos do trator. Todavia, para tração em ambos os eixos, a avaliação da carga dinâmica aplicada sobre a superfície de contacto dos rodados exige, de acordo com MURILLO-SOTO & SMITH (1977), o conhecimento do momento de inércia do trator da aceleração angular do chassi ao redor de um eixo transversal, da diferença de recalque do solo entre rodas dianteiras e trazeiras e de outros fatores cuja determinação é viável em estudos de laboratório, com modelos em escala reduzida.

Dada a essa problemática e pelo fato do presente trabalho tratar-se de um estudo preliminar, considerou-se na aplicação da equação de BEKKER (1960) apenas o valor estático de  $W$ , obtendo-se os seguintes resultados:

Eixo frontal .....	$H_b$	= 1.834 kgf
Eixo trazeiro .....	$H_b$	= 2.713 kgf
TOTAL		= 4.547 kgf
Relação $T_{4x4}/T_{2x4}$ .....		= 1,6761

Comparando-se, para cada marcha, o potencial de tração do solo com os valores médios da tração média observada nos ensaios, chega-se aos seguintes valores:

Marcha	Tração	Força Média/ $H_b$
1 <sup>a</sup>	4x4	0,6737
	2x4	0,7240
2 <sup>a</sup>	4x4	0,7257
	2x4	0,8141
3 <sup>a</sup>	4x4	0,6209
	2x4	0,8375

Como se observa, os maiores valores para a relação força média observada/ $H_b$  foram apresentadas para a tração apenas no eixo trazeiro. Assim, verifica-se que, nos ensaios realizados, o aproveitamento do potencial bruto do solo para tração foi da ordem de 67 a 84%. Tais valores podem atingir um nível mais alto, se considerarmos o efeito da resistência ao rolamento.



Comparando-se os valores da tração máxima observada durante os ensaios com aqueles de  $H_b$ , verifica-se que não houve discrepâncias marcantes. Valores de tração observada ligeiramente maiores que os de  $H_b$  foram verificados apenas para os dados 04, 07, 08 e 09 do Quadro 2, para os dados 03, 04 e 05 do Quadro 4 e para os dados 03, 09 e 10 do Quadro 6. No caso de tração 4x4, não se verificou nenhum caso da força média observada ser maior que  $H_b$ .

A análise de variância da força média de tração observada na barra, para cada condição de tração, considerando-se como tratamentos as 3 marchas utilizadas, apresentou os seguintes resultados:

a) Tração em ambos os Eixos:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	2	1,65 (N.S.)
Resíduo ...	30	-
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>-</b>

C.V. = 20,11%

b) Tração apenas no Eixo Trazeiro:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	2	1,45 (N.S.)
Resíduo ...	24	-
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>-</b>

C.V. = 19,07%

A não significância do teste F, tanto para tração 4x4 como para tração 2x4, evidencia que não houve diferenças estatisticamente significantes para a força de tração apresentada pelo trator nas 3 marchas. A magnitude da força de tração na barra foi semelhante para as 3 marchas.

Potência Média Observada

A análise de variância da potência média observada na barra de tração, em cada marcha, considerando-se, como tratamentos, a tração em ambos os eixos e apenas o trazeiro, apresentou os seguintes resultados:

a) 1.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	15,37**
Resíduo ...	18	-
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>-</b>

C.V. = 16,01%

Média para 2 eixos ( $T_{4x4}$ )	14,38 cv
Média para eixo trazeiro ( $T_{2x2}$ )	10,70 cv
Relação $T_{4x4}/T_{2x4}$	1,3439



b) 2.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	147,98**
Resíduo ...	17	-
<hr/>		
TOTAL	18	-

Média para 2 eixos ( $T_{4x4}$ )	18,34 cv
Média para eixo trazeiro ( $T_{2x2}$ )	11,86 cv
Relação $T_{4x4}/T_{2x4}$	1,5464

c) 3.<sup>a</sup> Marcha Reduzida Lenta:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	1	80,91**
Resíduo ...	19	-
<hr/>		
TOTAL	20	-

C.V. = 12,57%

Média para 2 eixos ( $T_{4x4}$ )	26,20 cv
Média para eixo trazeiro ( $T_{2x4}$ )	15,72 cv
Relação $T_{4x4}/T_{2x4}$	1,6667

A alta significância de F para as 3 marchas indica que a tração 4x4 apresenta sensível vantagem sobre a tração 2x4, em termos de incremento da potência na barra de tração. A tendência crescente da relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  com o aumento da velocidade (marchas) mostra que as maiores vantagens do uso de tração em ambos os eixos, se verifica para marchas de maior velocidade. Comparando-se esses resultados com os relativos à força média de tração, verifica-se uma tendência inversa no acréscimo/decréscimo da relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  quando se considera potência e força de tração.

A análise de variância da potência na barra, para cada condição de tração, considerando-se como tratamentos as 3 marchas utilizadas, apresentou os seguintes resultados:

a) Tração em ambos os Eixos:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	2	62,08**
Resíduo ...	30	-
<hr/>		
TOTAL	32	-

C.V. = 12,88%



Médias:	1. <sup>a</sup> marcha	.....	14,38 cv
	2. <sup>a</sup> marcha	.....	18,34 cv
	3. <sup>a</sup> marcha	.....	26,20 cv
	D.M.S.	.....	2,67 cv

Pela D.M.S., observa-se que, em termos de potência, as marchas apresentaram comportamento bem diferenciado, na condição de tração 4x4.

b) Tração apenas no Eixo Trazeiro:

C. Variação	G.L.	F
Tratamentos	2	35,92**
Resíduo ...	24	-
<hr/>		
TOTAL	26	-

C.V. = 10,49%

Médias:	1. <sup>a</sup> marcha	.....	10,70 cv
	2. <sup>a</sup> marcha	.....	10,86 cv
	3. <sup>a</sup> marcha	.....	15,72 cv
	D.M.S.	.....	1,68 cv

Pela D.M.S., observa-se que, em termos de potência, as 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> marchas apresentaram comportamento semelhante entre si e que a 3.<sup>a</sup> marcha apresentou comportamento bem diferente dos demais, na condição de tração 2x4.

Com base nos resultados da análise da força de tração, que indicam não haver diferença entre as marchas, pode-se explicar o comportamento das 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> marchas com tração 2x4, como o resultado da menor velocidade de deslocamento em 2.<sup>a</sup> marcha com tração 2x4 em relação à tração 4x4, devido ao patinamento dos rodados.

### CONCLUSÕES

Da análise e discussão dos resultados obtidos, chega-se às seguintes conclusões:

- A tração em 4 rodas, no espécime submetido a ensaios, revelou duplamente vantajosa: - para baixas velocidades, quando normalmente ocorrem sobrecargas de tração, a relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  para tração apresentou seu mais alto valor; para velocidades mais altas, quando se solicita maior potência, a relação  $T_{4x4}/T_{2x4}$  para potência, também apresentou seu nível mais alto.
- A tração 4x4 se revelou um fator que acentua as diferenças de velocidade, propiciada pelas marchas da caixa de transmissão do trator, quando comparada com a tração 2x4.
- O critério de se adotar a carga estática aplicada na área de contacto rodado-solo, para efeito de avaliação do aproveitamento, pelos rodados, do potencial de tração do terreno, apesar de contar imprecisões, pode constituir uma fórmula prática para prognósticos do desempenho de tratores sobre solos agrícolas.
- O método fotográfico de mensuração da área do contacto pneu-solo, e bem como a metodologia de caracterização do solo e de mensuração de força e giro das rodas, revelaram-se eficientes e práticos para trabalhos visando a avaliação do desempenho de tratores no campo.



## LITERATURA CITADA

- BAILEY, A.C. WEBER, J.A. Coparison of methods of measuring soil shear strength using artificial soils. *Trans. of the ASAE*. 8(2): 153-156-160. 1965.
- BECKWITH, T.C. & BUCK, N.L. *Mechanical Measurements*. Addinon - Wesley Publi - shing Co, 559 pp.
- BEKKER, M.G. off-the road locomotion. *Research and development in terramecha - nics*. The University of Michigan Press. Ann ARbor, USA, 1960. 220 p.
- BUCHELE, W.F. & COLLINS, E.V. The development of the tenden tractor. *Agr. Eng.* 39(4): 232-234. 1958.
- COHSON, G.T. Soil sheargraph. *Ag. Eng.* 44(10): 554-556. 1963
- DWYER, M.J. & PEARSON, G. A field comparison of the tractive performance of two and four-wheel drive tractors. *Journal of Agr. Eng. Res.* 21(1): 77-85. 1976.
- GARMAN, J.A. Tandem studies. *Trans. of the ASAE*. 2(1): 18-20. 1959
- LAWSON, L.E. Tendes tractors - what, how and why ? *Trans. of the ASAE*. 2(1):21-25. 1959.
- MURILLO-SOTO, F. & SMITH, J.L. Weight transfer in 4WD tractors: A model Study . *Trans. fo the ASAE* 20(2): 253-257. 1977.
- OSBORNE, L.E. A field comparison of the performance of two and four-wheel drive and tracklaying tractors. *Journal of Agr. Eng. Res.* 16(1): 46-61. 1971.
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINGO, T.; FRANÇA, G.V., *Carta de solos da Fazenda Ipa nema*. Projeto ETA-70. 1965. 46 pp. mimeo.
- SOUTHWELL, P.H. An investigation of flour-wheel-drive and tendem-tractor arran - gement. *Trans. of the ASAE*. 10(2)-284-288. 1967.
- ZOZ, F.M. Predicting tractor field performance. *Trans. of the ASAE*, 15(2): 249-255. 1972.