

XI. ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DA PATINAGEM DA RODA MOTRIZ DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA
COMPACTAÇÃO DO SOLO⁽¹⁾**

**JOSÉ VALDEMAR GONZALEZ MAZIERO⁽²⁾, LUIZ GERALDO MIALHE⁽³⁾,
ILA MARIA CORRÊA⁽²⁾, KIYOSHI YANAI⁽²⁾ e JOÃO FLORIANO DE MENEZES⁽²⁾**

1. INTRODUÇÃO

O solo agrícola, como fator de produção, exige a manutenção e a garantia de sua perenidade. Portanto, a indispensável mecanização das operações agrícolas deve corresponder às necessidades pedológicas e fitotécnicas.

No entanto, o tráfego contínuo de máquinas dentro de uma área tem provocado alterações significativas no solo no que diz respeito à compactação. Em vista disso, há necessidade de direcionar o projeto, a seleção e o manejo dos equipamentos agrícolas e os sistemas de produção, visando obter níveis de compactação ao longo do perfil do solo que não sejam restritivos ao desenvolvimento da cultura.

Quanto aos vários fatores que concorrem para os agravamentos do fenômeno, como é o caso da patinagem dos rodados, o domínio sobre os processos pelos quais a compactação do solo pode ser modificada e controlada, bem como a forma de determiná-la, é essencial para uma agricultura permanente.

O tráfego de pneus em solos agrícolas difere do tráfego em rodovias. Somente em circunstâncias excepcionais, o solo agrícola apresenta resistência às cargas aplicadas por pneus sem exceder o limite elástico e sem deformar-se permanentemente. A forma e a extensão dessas deformações dependem sobretudo das propriedades físicas do solo e do pneu.

De acordo com Soehne (1958), o efeito de compressão do pneu do trator tende a concentrar-se na linha central do rasto.

Soane et al. (1981) citam que a pressão da inflação, o tamanho do pneu e a resistência da carcaça controlam a distribuição de força sobre a área de contato com o solo, que é influenciado primariamente pela sua resistência inicial.

Raghavan et al. (1976), estudando a compactação causada por pneus agrícolas de tamanhos diferentes, mostram a vantagem da utilização de pneus mais largos, a fim de distribuir a carga sobre uma área maior, resultando em menor compactação.

O tipo de construção do pneu também pode determinar maior ou menor compactação do solo. Os pneus radiais, devido à disposição das lonas, tornam os flancos mais flexíveis, por isso obtêm maior área de contato que o pneu de construção diagonal. Abeels (1976) e Plackett (1984), ao trabalharem com esses dois tipos de pneus, verificaram, respectivamente, quanto ao radial, aumento da área de contato e diminuição da pressão aplicada ao solo.

O efeito da pressão de inflação do pneu tem também grande importância na compactação. Segundo McLeod et al. (1966), em um pneu de baixa pressão, carregando 10.8 kN, houve uma redução de 42% da área da secção transversal do sulco quando a pressão de inflação baixou de 41 para 27 kPa.

Coleti & Demattê (1982) e Novak et al. (1989) mostram que a intensidade de tráfego afeta a compactação do solo, aumentando sua densidade e diminuindo a condutividade hidráulica.

Stafford & Mattos (1981), estudando o efeito da velocidade de deslocamento sobre a densidade do solo, verificaram que a compactação por rodas aumenta dentro de uma faixa grande de teores de umidade quando há decréscimo da velocidade. O efeito é atribuído pelos autores à adição de compactação produzida pela deformação que é causada por cisalhamento devido à patinagem, sendo esse efeito menor a altas velocidades.

Davies et al. (1973), ao pesquisarem sobre a compactação do solo provocada por tratores operando com diferentes lastragens e patinagens, observaram que a patinagem foi a causa de compactação mais importante que a lastragem.

Raghavan & McKyes (1977) avaliaram, em condições de laboratório, o efeito do cisalhamento provocado por patinagem na compactação do solo. Os resultados mostraram que a cada nível de pressão normal, a aplicação de cisalhamento causou acréscimo de densidade de 20 a 50%.

Raghavan et al. (1977) trabalharam com três tamanhos de pneus e diferentes níveis de patinagem em dois tipos de solos (arenoso e argiloso). De acordo com os resultados observados por esses autores, a menor compactação ocorreu abaixo de 10% e acima de 50% de patinagem; acréscimos de densidade do solo de $0,12 \text{ g/cm}^3$ e $0,25 \text{ g/cm}^3$ foram obtidos devido à patinagem, em solo arenoso e argiloso respectivamente; observaram também que a máxima compactação ocorreu entre 15 e 25% de patinagem.

O objetivo deste trabalho foi determinar, em condições de campo, qual a influência da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação de um determinado tipo de solo. O trabalho parte da hipótese de que existe uma relação entre níveis de patinagem e grau de compactação na região de contato pneusolo em função dos esforços que são aplicados pela banda de rodagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o trabalho nas dependências da Divisão de Engenharia Agrícola, em Jundiá (SP), pertencente ao Instituto Agrônomo, em área de aproximadamente 2 ha. O solo, composto por 15% de argila, 35% de silte, 22% de areia fina e 28% de areia grossa, caracteriza-se como franco de acordo com o Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Oliveira et al., 1992).

Como fonte de patinagem e compactação, utilizou-se um trator Massey Ferguson 275⁽⁴⁾ devidamente instrumentado para determinação de patinagem e força de tração na barra. Apresentava um peso total de 39.306 N, sendo 10.738 N no eixo dianteiro e 28.568 N no eixo traseiro e distância entre eixos de 2.150 mm, sendo equipado com pneus traseiros Pirelli 18.4-30, R1, 10 lonas, inflados com pressão de 125 kPa. Efetuou-se a aplicação de carga na barra de tração, a fim de provocar a patinagem, utilizando-se um segundo trator, Massey Ferguson modelo 295 4 x 2 TDA acoplado por meio de um tirante de tração.

Para mensuração da força de tração, empregou-se uma célula de carga marca Alfa, com capacidade de 10 t, precisão de 2% acoplada à barra de tração do trator e que foi conectada eletricamente por meio de um cabo ao indicador registrador, marca Kratos modelo Br 103.

Na determinação da patinagem, usaram-se dispositivos constituídos por roda dentada (20 dentes) e sensores indutivos acoplados às rodas de tração e roda odométrica.

Para determinação da resistência do solo à penetração, utilizou-se um penetrômetro de anel marca Solotest, referência S-210 equipado com relógio comparador marca Kafer com subdivisões de 0,001 mm, previamente calibrado.

A área de ensaio era totalmente plana e nivelada, mas para tornar as condições do solo as mais homogêneas possíveis, realizou-se uma aração, com aproximadamente 20 cm de profundidade, utilizando um arado de três discos de 26 polegadas, e duas gradagens por meio de uma grade com 28 discos de 18 polegadas. Procedeu-se ao ensaio após a área ter permanecido em descanso por quatro meses.

Como o trabalho visou avaliar a compactação do solo em quatro diferentes níveis de patinagem, 0, 10, 20 e 30%, desenvolveu-se o experimento em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. As quatro parcelas de cada bloco apresentavam 5 m de largura por 50 cm de comprimento. Entre um bloco e o seguinte, deixou-se um espaço de 30 m para possibilitar a manobra do trator e a estabilização das cargas.

A compactação do solo foi avaliada pelo índice de cone, em várias profundidades. As amostragens foram feitas na linha central do rasto da impressão da garra deixado pelo pneu, e também ao lado, a mais ou menos 800 mm da linha de centro do rasto do pneu, em terreno não compactado pela roda. Realizaram-se quinze amostragens em cada uma das posições, tomando-se leituras de índice de cone a cada 25 mm de profundidade até 150 mm. Os valores do índice de cone obtidos no rasto do pneu foram comparados com aqueles obtidos ao lado.

Com base no trabalho de Dickson, citado por Claverie et al. (1992), evitou-se o efeito da pressão de contato da roda dianteira do trator na área de ação do pneu traseiro em estudo, regulando-se a bitola dianteira para a posição mínima, 1.420 mm, e a traseira, para a posição máxima de 2.160 mm.

Com a finalidade de minimizar as transferências de peso para o eixo traseiro, à medida que eram impostas as cargas na barra de tração para conseguir as patinagens desejadas, invertia-se a barra de tração e instalava-se um dispositivo, construído em chapa de aço SAE 1020 com 100 mm de largura e 13 mm de espessura, o qual se encontrava acoplado no ponto de fixação da barra de tração do trator. Dessa maneira, o ponto de engate da barra de tração passou a situar-se a 100 mm acima do nível do solo, porém à mesma distância do plano vertical que passa pelo centro do eixo traseiro.

Para determinar os valores de força a serem aplicados à barra de tração durante o ensaio, que proporcionassem a patinagem desejada, realizou-se um trabalho preliminar em terreno localizado junto ao campo experimental. Nesse local, o trator que estava a reboque impôs cargas crescentes ao trator em teste. Para cada carga, calculou-se a patinagem correspondente.

Com os dados obtidos, determinou-se uma equação que representasse a patinagem em função da força de tração. A equação obtida foi:

$$P = 0,3286505 + 8,99065 \cdot 10^{-5} \cdot Ft + 8,466856 \cdot 10^{-8} \cdot Ft^2 \quad (r = 0,998) \quad (1)$$

onde:

P = Patinagem, em % e Ft = Força de tração, em N.

Por essa equação, estabeleceram-se as cargas a serem aplicadas à barra de tração do trator, durante os ensaios definitivos, em função dos níveis de patinagem definidos para cada tratamento, com uma tolerância de mais ou menos 1% em torno do valor nominal.

Fez-se o cálculo da patinagem, utilizando-se a equação:

onde:

P = patinagem, em %;

N_T = n.º de giros da roda motriz com carga;

N_O = n.º de giros da roda odométrica;

PE_T = perímetro eficaz da roda motriz, em mm;

PE_O = perímetro eficaz da roda odométrica, em mm.

Perímetro eficaz é o perímetro de uma roda equivalente à distância por ela percorrida em uma volta completa, com patinagem presumível igual a zero. As determinações do perímetro eficaz da roda motriz do trator e da roda odométrica foram realizadas em pista de concreto, em uma das condições zero definidas pela American Society of Agricultural Engineers (1987), com trator deslocando-se sem exercer força de tração na barra.

A cada tratamento, realizaram-se as determinações de índice de cone, distribuindo-as da seguinte maneira: quinze na linha de centro do rasto deixado pelo pneu da roda motriz, e quinze no terreno ao lado, com leituras para seis profundidades.

Efetuarão-se três amostragens de solo para determinação do teor de água do solo nas profundidades de 50, 100 e 150 mm, para cada parcela, cujos valores são apresentados no [quadro 1](#).

Quadro 1. Valores médios do teor de água do solo em cada tratamento			
Tratamento(1)	Profundidade	Teor de água no solo	
		Média	C.V.
%	mm	%	
0	0- 50	21,80	6,60
	50-100	23,16	7,25
	100-150	24,03	6,57
10	0- 50	20,13	6,86
	50-100	21,58	6,12
	100-150	22,89	6,66
20	0- 50	20,84	7,73
	50-100	22,56	6,77
	100-150	23,44	5,56
30	0- 50	20,93	7,63
	50-100	23,33	6,63
	100-150	23,77	5,58

(1) Patinagem nominal.

As diferenças entre os valores de índice de cone obtidos na linha de centro do rasto do pneu e no terreno ao lado, foram analisadas estatisticamente por meio de delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com cinco repetições. Nessa análise, os níveis de patinagem constituíram as parcelas e os níveis de profundidades, as subparcelas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O [quadro 2](#) apresenta os valores médios de força imposta à barra de tração e os respectivos valores médios das patinagens, em cada tratamento. Os valores médios de força de tração podem ser considerados uniformes, em função do baixo coeficiente de variação. O mesmo ocorre com a patinagem, permanecendo dentro da tolerância de mais ou menos 1% do valor nominal de cada nível, conforme previsto.

Tratamento(1)	Força de tração		Patinagem	
	Média	C.V.	Média	C.V.
%	kN	%	%	
0	-	-	0,2	7,9
10	10,39	2,7	10,4	4,1
20	14,79	1,1	19,7	0,7
30	17,97	0,8	29,7	1,4

(1) Patinagem nominal

Os resultados médios de índice de cone referentes a cada tratamento em função da profundidade são apresentados na [figura 1](#). Verifica-se que os pontos correspondentes à condição II apresentam tendência uniforme de incremento de índice de cone com a profundidade.

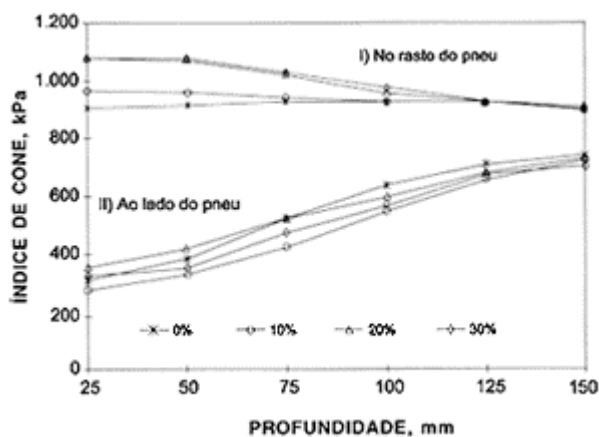


Figura 1. Valores médios de índice de cone em função da profundidade, para os diferentes níveis de patinagens, no rasto e ao lado do pneu.

As diferenças, para cada tratamento, entre os valores médios de índice de cone obtidos na linha de centro do rasto do pneu e no terreno ao lado, nas diversas profundidades, constam do [quadro 3](#) e da [figura 2](#).

Quadro 3. Valores das diferenças entre os índices de cone obtidos no rasto do pneu e no terreno ao lado					
Profundidade	Patinagem (%)				Média(1)
	0	10	20	30	
mm	kPa				
25	591	690	726	750	689 A
50	527	630	651	729	635 A
75	404	493	498	551	487 B
100	298	371	371	407	362 C
125	211	257	246	252	241 D
150	154	162	170	193	170 D
Média(1)	364 b	434 ab	444 ab	480 a	

(1) Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

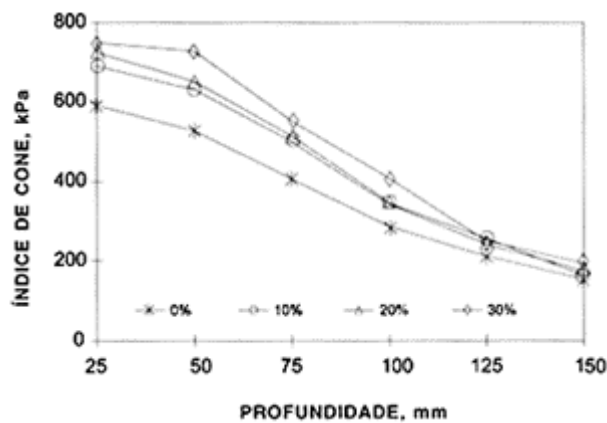


Figura 2. Diferenças entre os índices de cone obtidos no rasto e ao lado do pneu.

Pode-se avaliar a contribuição de cada tratamento no efeito compactante, uma vez que a compactação inicial do solo foi colocada no mesmo nível de referência. Comparando-se as médias das diferenças de índice de cone, verificou-se que os valores foram 19,2; 22,0 e 31,9%, quando se passou de 0 para 10, 20 e 30% de patinagem respectivamente. Sendo assim, fica evidente que ao aumento progressivo do efeito compactante corresponde o aumento da patinagem, o que concorda parcialmente com Raghavan et al. (1977) que observaram menor compactação abaixo de 10% de patinagem.

Quanto ao índice de cone, nota-se que os valores mais altos encontram-se nas camadas mais próximas da superfície; nota-se, também, que os valores médios de índice de cone obtidos nas profundidades 25 e 50 mm diferem significativamente dos valores encontrados nas demais (Quadro 3). Pelo teste de Tukey ao nível de 5%, observaram-se diferenças significativas apenas entre os níveis 0 e 30%. Também se observa uma tendência de crescimento do índice de cone com o aumento da patinagem, embora de 10 a 20% não tenha havido diferenças significativas.

4. CONCLUSÕES

1. Houve diferenças significativas no índice de cone apenas entre os níveis 0 e 30%.
2. O efeito compactante da patinagem sobre o solo foi significativamente maior até 50 mm de profundidade.
3. Embora se tenha constatado aumento progressivo do efeito compactante da patinagem sobre o solo, de 19,2; 22,0 e 31,9%, quando se passou de 0 para 10, 20 e 30%, respectivamente, não houve diferença significativa no índice de cone na faixa de 10 a 20% de patinagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEELS, P.F.J. Tire deflection and contact studies. *Journal of Terramechanics*, Hanover, **13**(3):183-196, 1976. [[Links](#)]
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *Uniform terminology for traction agricultural tractor, selfpropelled implements, and other traction and transport devices*: ASAE. S 296.3. St. Joseph, ASAE Standard, 1987. p.116. [[Links](#)]
- CLAVERIE, J.A.; HILBERT, J.A. & BALBUENA, R.H. Efect del diseno del tractor sobre la compactacion del suelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., Santa Maria, 1992. *Anais*, Santa Maria, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.1686-1692. [[Links](#)]
- COLETI, J.T. & DEMATTÊ, J.L.I. Compactação artificial em solos: experiência e dados informativos. *Álcool & Açúcar*, São Paulo, **6**:34-39, 1982.
- DAVIES, D.B.; FINNEY, J.B. & RICHARDSON, S.J. Relative effects of tractor weight and wheel-slip in causing soil compaction. *Journal of Soil Science*, London, **24**(3):399-409, 1973. [[Links](#)]
- McLEOD, H.E.; REED, I.F.; JOHNSON, W.H. & GILL, W.R. Draft, power efficiency, and soil-compaction characteristics of single, dual and low-pressure tires. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, **9**(1):41-44, 1966. [[Links](#)]
- NOVAK, L.R.; MARTYN, P.J.; MANTOVANI, E.C. & FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu-solo na compactação de um latossolo vermelho-escuro álico, em dois níveis de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., Recife, 1989. *Anais*. Recife, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989. p. 520-535. [[Links](#)]
- OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T. & CAMARGO, M. N. *Classes gerais de solos do Brasil: guia para seu reconhecimento*. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p. [[Links](#)]
- PLACKETT, C.W. The ground pressure of some agricultural tyres at load and with zero sinkage. *Journal Agricultural Engineering Research*, Bedfordshire, **29**:159-166, 1984. [[Links](#)]
- RAGHAVAN, G.S.V. & McKYES, E. Laboratory study to determine the effect of slip-generated shear on soil compaction. *Canadian Agricultural Engineering*, Ottawa, **19**(1):40-42, 1977. [[Links](#)]
- RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E. & CHASSE, M. Effect of wheel slip on soil compaction. *Journal Agricultural Engineering Research*, Bedfordshire, **22**:79-83, 1977. [[Links](#)]
- RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E.; CHASSE, M. & MERIENEAU, F. Development of compaction patterns due to machinery operation in orchard soil. *Canadian Journal Plant Science*, Ste. Anne de Bellevue, **56**:505-509, 1976. [[Links](#)]

SOANE, B.D.; BLACKWELL, P.S.; DICKSON, J.W. & PAINTER, D.J. Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, **1**:373-400, 1981.

SOEHNE, W. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, 276-290, 1958. [[Links](#)]

STAFFORD, J.V. & MATTOS, P.C. de. The effect of forward speed on wheel-induced soil compaction: laboratory simulation and field experiments. *Journal Agricultural Engineering Research*, Bedfordshire, **26**:333-347, 1981. [[Links](#)]