

Linhas de resistência à penetração obtidas em tanque de solo por um penetrômetro elétrico-eletrônico

Fabrizio Leite¹, João Eduardo Guarnetti dos Santos², Kléber Pereira Lanças³

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM/CAU, Curso de Agronomia, Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR.

²Universidade Estadual Paulista – UNESP/FEB, Departamento de Engenharia Mecânica, Bauru, SP.

³Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCA, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu, SP.
fleite2@uem.br, guarneti@feb.unesp.br, kplancas@fca.unesp.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar linhas de resistência à penetração em um tanque de solo utilizando um penetrômetro elétrico-eletrônico. Para efetuar a compactação no tanque de solo através de uma Prensa Hidráulica, foi utilizado um pneu agrícola Diagonal 23.1-30 inflado com uma pressão de 194,70 kPa (20 psi). As forças normais aplicadas ao solo pelo pneu foram: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN. O tanque foi preenchido com quatro camadas de Latossolo distrófico, estando cada camada com teor de água médio de 0,12 kg.kg⁻¹ e densidade média do solo de 1,30 kg.dm⁻³. A distribuição de tensão imposta pelo pneu ao solo foi simétrica para todas as forças aplicadas pelo rodado. Os maiores valores de resistência do solo à penetração para as forças aplicadas 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN, foram respectivamente, 325,58; 670,54; 954,26 e 1784,50 kPa na diagonal menor e 359,70; 718,60; 996,12 e 1646,50 kPa na diagonal maior da área de contato pneu-solo no tanque.

Palavras-chave: compactação, física do solo, pneu agrícola.

Lines of resistance to the penetration obtained in tank of soil for an electric-electronic penetrometer

Abstract: The objective of this work went evaluate resistance lines to the penetration in a soil tank using an electric-electronic penetrometer. To make the compactação in the soil tank through a Hydraulic Press, a Diagonal agricultural tire was used 23.1-30 inflated with a pressure of 194,70 kPa (20 psi). The normal forces applied to the soil by the tire were: 0,5; 1,0; 1,5 and 2,0 kN. The tank was filled with four layers of Latossolo distrófico, being each layer with medium text of water of 0,12 kg.kg⁻¹ and medium density of the soil of 1,30 kg.dm⁻³. The tension distribution imposed by the tire to the soil was symmetrical for whole the forces applied by the wheeled. The largest values of resistance of the soil to the penetration for the applied forces 0,5; 1,0; 1,5 and 2,0 kN, were respectively, 325,58; 670,54; 954,26 and 1784,50 kPa in the smaller diagonal and 359,70; 718,60; 996,12 and 1646,50 kPa in the largest diagonal of the area of contact tire-soil in the tank.

Keywords: compaction, soil physical, tyre agricultural

Introdução

As máquinas agrícolas tornaram-se inquestionavelmente a fonte primária de forças de compactação dos solos agrícolas. O aumento do peso dos tratores fez com que houvesse um aumento do tamanho dos pneus, num esforço de manter constante a pressão normal de contato do pneu com o solo (Maziero, 1993).

De acordo com Maziero (1993) a compactação de um solo é definida como a diminuição do volume de uma determinada massa desse solo, provocado pelo rearranjo de suas partículas.

O fenômeno da compactação pode ser avaliado sob dois pontos de vista: estático e dinâmico. Segundo Gill & Vanden Berg (1967), uma característica dinâmica é aquela que se revela como resposta à aplicação de uma força enquanto que uma estática independe desse fator. Portanto, na avaliação da compactação poderá utilizar como critério de medida a resistência oferecida à penetração como resposta à ação de uma força ou, a relação entre massa e volume. Horn et al. (1995) acrescentam que não somente a pressão estática (tensão normal) causa compactação, mas também forças dinâmicas causadas pela vibração do trator arrastando implementos e pelo patinamento.

A resistência do solo à penetração é um indicador intermediário da compactação, não sendo uma medição física direta das condições do solo, uma vez que seu valor é variável em função de outros fatores, principalmente do teor de água e do tipo de solo (Lanças, 1996).

De acordo com Lanças (2000), é possível realizar comparações da resistência do solo à penetração em mesmo local, mas em épocas diferentes, porém com o solo na mesma condição de teor de água, tal como na avaliação da evolução da compactação num mesmo local ao longo do tempo. O autor comenta que a utilização de penetrômetros ou penetrógrafos manuais, além de estar limitada ao esforço máximo que uma pessoa pode fornecer, não garante velocidade constante de penetração, pois dificilmente o operador terá sensibilidade o suficiente para variar instantaneamente a força aplicada em função das variações naturais da resistência mecânica do solo ao longo do perfil desejado.

De acordo com Nagaoka (2001), no desenvolvimento e avaliação do desempenho de um equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual, o tipo de pneu utilizado, apresentou influência significativa na compactação do solo, mostrando que na média dos valores obtidos, o índice de cone com o pneu diagonal (23.1-30) (2510 kPa) foi maior do que o pneu radial (23.1-R 30) (2380 kPa). Todas as cargas utilizadas no experimento modificaram a condição inicial do solo, sendo que as cargas mais elevadas (19000 N e 16000 N) provocaram maiores valores de índice de cone e seus incrementos. As camadas do solo de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm sofreram maiores incrementos no índice cone. Os tratamentos que utilizaram pneu radial com carga de 16000 N causaram os maiores incrementos do índice de cone do solo.

Raper et al. (1995) estudaram o comportamento do pneu radial 18.4 R 34, R1, medindo a pressão exercida ao solo, combinando 4 níveis de carga e pressão de inflação no pneu. Os resultados obtidos pelos autores permitiram verificar que com o aumento da pressão de inflação, a pressão de contato pneu-solo aumentou ao centro do rasto do pneu enquanto para as bordas do rasto não alteram significativamente. O aumento da pressão no centro do pneu são transferidos para o solo aumentando a compactação, observados pela medição do índice de cone. O pneu inflado corretamente otimiza a tração líquida e eficiência trativa.

Lépore e Steffen (1983) afirmaram que há possibilidade de numerosas alternativas nos ensaios em tanques de solos, e tais alternativas podem ser melhores e mais rapidamente analisadas em tanques em escala reduzida, uma vez que a construção de modelos consome menos material. Além da preparação do solo para cada ensaio, é necessário consumir menos tempo e apresentar uma melhor uniformidade do mesmo. Acrescentam ainda que, do ponto de vista prático, para que seja possível conseguir um teste bem controlado é indispensável dispor de um tanque de solo com dimensões adequadas e instalado em um laboratório com ambiente controlado.

O estudo da distribuição de tensão do pneu imposta ao solo é de suma importância para o estudo da dinâmica entre pneu/solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar linhas de resistência à penetração ao longo de um perfil, imposto por um pneu agrícola, em um tanque de solo.

Material e Métodos

Os ensaios foram executados com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa média pertencente a uma área experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu/SP. Para efetuar a compactação no tanque de solo através de uma Prensa Hidráulica, foi utilizado um pneu agrícola Diagonal 23.1-30 que foi inflado com uma pressão de 194,70 kPa (20 psi). Para demarcação das perfurações das linhas de resistência do solo à penetração, foi utilizado um quadro de madeira com 990 mm de comprimento e 850 mm de largura sendo que no interior foi colocado uma malha de barbante (100 x 100 mm). Para a obtenção dos valores de resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro elétrico-eletrônico desenvolvido por Leite (2004) e para a aquisição destes valores foi utilizado um sistema de aquisição de dados modelo CR23X Micrologger. Os níveis de carregamento relativos às forças normais aplicadas ao solo pelo pneu, por meio de um atuador hidráulico, foram: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN, sendo estas cargas controladas e registradas por meio de um manômetro acoplado ao painel da referida prensa.

Iniciou-se a avaliação das linhas de resistência do solo à penetração com a aplicação da força de 0,5 kN, imposta pela Prensa Hidráulica através do pneu sobre o solo acondicionado no tanque, onde

foi colocado um quadro de madeira sobre o perfil do solo, fazendo coincidir a linha de centro da malha do quadro de madeira sobre o perfil do pneu. Posteriormente, foram feitas perfurações a cada 100 mm, de acordo com a malha do quadro obtendo a resistência do solo à penetração na maior seção longitudinal do pneu e na maior seção transversal do pneu. Após o término das perfurações, esvaziou-se todo o tanque de solo, preencheu novamente o tanque com quatro camadas de solo, estando cada camada com teor de água médio de $0,12 \text{ kg.kg}^{-1}$ e densidade média do solo de $1,30 \text{ kg.dm}^{-3}$ e iniciou-se a avaliação das linhas de resistência do solo à penetração com a aplicação da força seguinte, sendo esta de 1,0 kN, procedendo-se da mesma maneira todo o método anteriormente descrito, sendo posteriormente feitas as avaliações para as forças de 1,5 kN e 2,0 kN.

Foi sistematizado, para permitir avaliar as linhas de resistência do solo à penetração, assim como, o comportamento da resistência do solo à penetração nas diagonais transversal maior e longitudinal maior do pneu ao longo do perfil do solo, para cada força normal aplicada, na forma de gráficos, obtidas pelo penetrômetro elétrico-eletrônico. Para facilitar a interpretação dos gráficos de linhas de resistência do solo à penetração, convencionou-se que o lado esquerdo da linha de centro da diagonal menor e a parte dianteira à partir da linha de centro da diagonal maior, são apresentadas nos gráficos pelo sinal negativo. O ponto 0 (zero), tanto na profundidade quanto à resistência do solo à penetração, coincidem com a linha de centro do pneu e linhas de centro das diagonais maior e menor.

Resultados e Discussão

As linhas de resistência do solo à penetração foram determinadas no tanque de solo para as forças 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN. As Figuras 1, 2 e 3 mostram a determinação das linhas de resistência do solo à penetração durante o ensaio. A Figura 1 mostra o que foi denominado de Diagonal Maior e Diagonal Menor, para orientar melhor as determinações de resistência do solo à penetração, conseqüentes das cargas impostas pelo pneu ao tanque de solo.

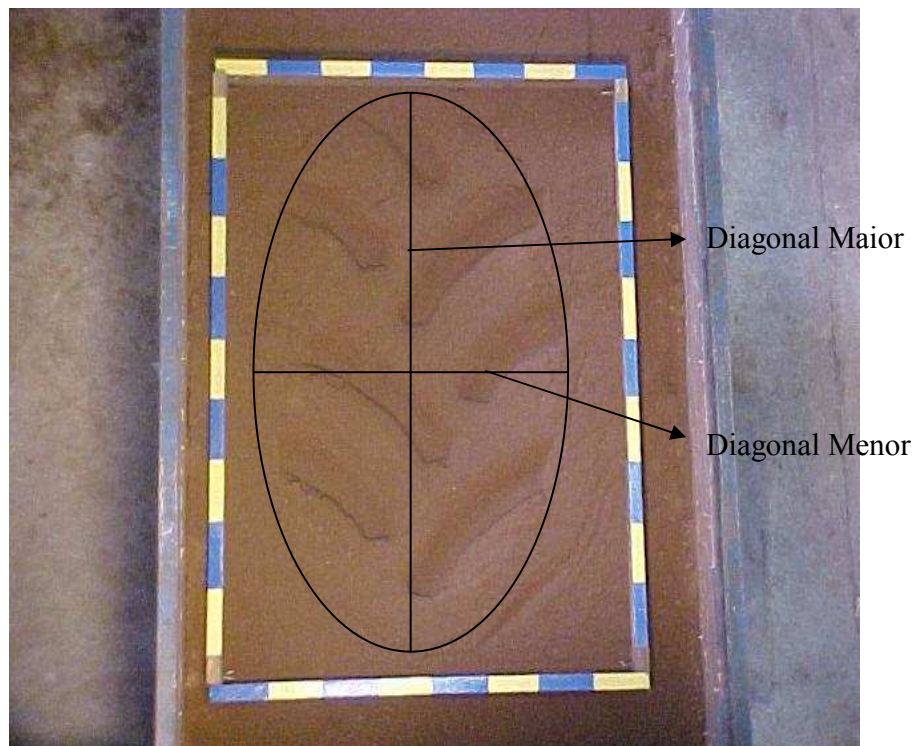


Figura 1 – Solo deformado pelo pneu agrícola diagonal através da Prensa Hidráulica.

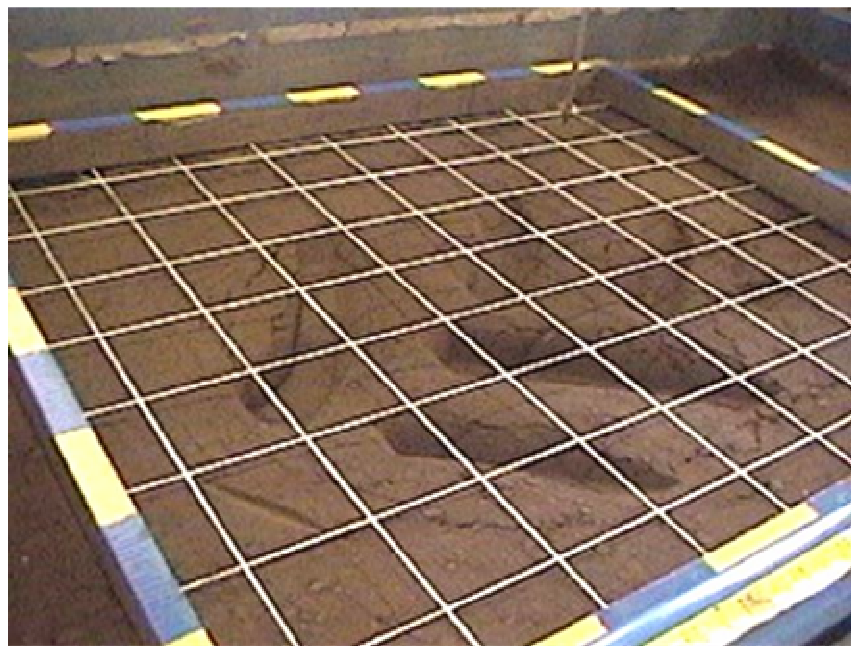


Figura 2 – Quadro de madeira utilizado na determinação das linhas de resistência do solo à penetração.

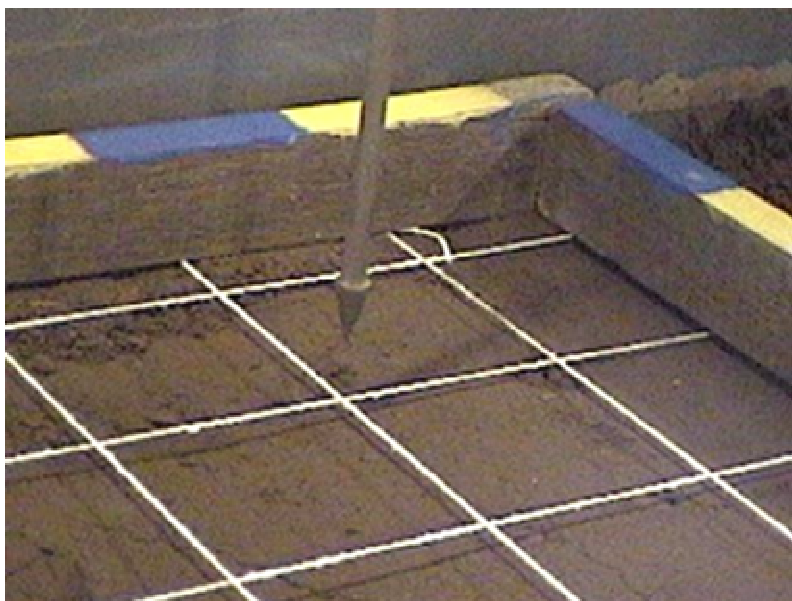


Figura 3 – Determinação das linhas de resistência do solo à penetração.

Foram determinadas linhas de resistência do solo à penetração na área deformada pelo pneu no tanque de solo na diagonal maior e menor do pneu agrícola para cada força aplicada, conforme pode ser visualizado nas Figuras 4 a 11.

Pode-se observar pelas Figuras 4 à 11 que a distribuição de tensão imposta pelo pneu ao solo foi simétrica para todas as forças aplicadas pelo rodado. Fato este que pode ser atribuído aos teores de água e densidade do solo estarem homogêneos ao longo do perfil do tanque, mostrando portanto, o efeito da carga imposta pelo rodado ao solo .

Conforme pode ser visualizado nas Figuras 4, 6, 8 e 10, os maiores valores de resistência do solo à penetração para as forças aplicadas 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN, foram respectivamente, 325,58; 670,54; 954,26 e 1784,50 kPa, na diagonal menor da área de contato pneu-solo no tanque. No entanto os maiores valores observados de resistência do solo à penetração na diagonal maior da área de contato pneu-solo para as forças aplicadas 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kN, foram respectivamente, 359,70; 718,60; 996,12 e 1646,50 kPa (Figuras 5, 7, 9 e 11). Portanto, o aumento das forças normais ao solo resultou em aumento dos valores de resistência do solo à penetração, o que foi detectado pela sensibilidade do penetrômetro elétrico-eletrônico, tanto na diagonal menor quanto na diagonal maior.

Pode-se observar que as maiores resistências do solo à penetração estão concentradas ao centro da área de contato pneu-solo, mostrando assim, que o pneu exerce uma força normal de maior resistência do solo à penetração quase pontual, fato este que dependerá das dimensões do pneu a ser utilizado, o mesmo foi observado por Raper et al. (1995).

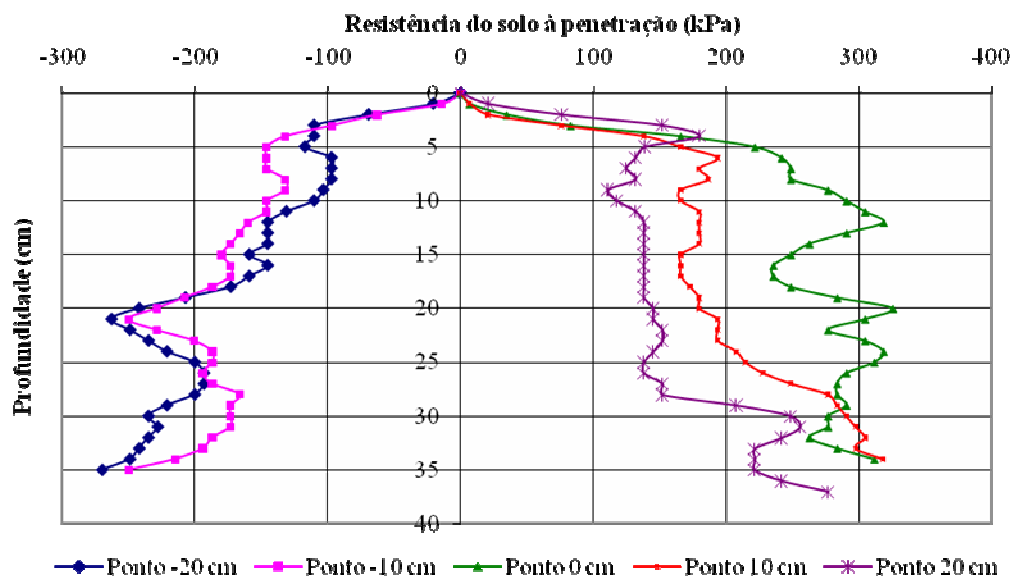


Figura 4 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 0,5 kN (Diagonal menor).

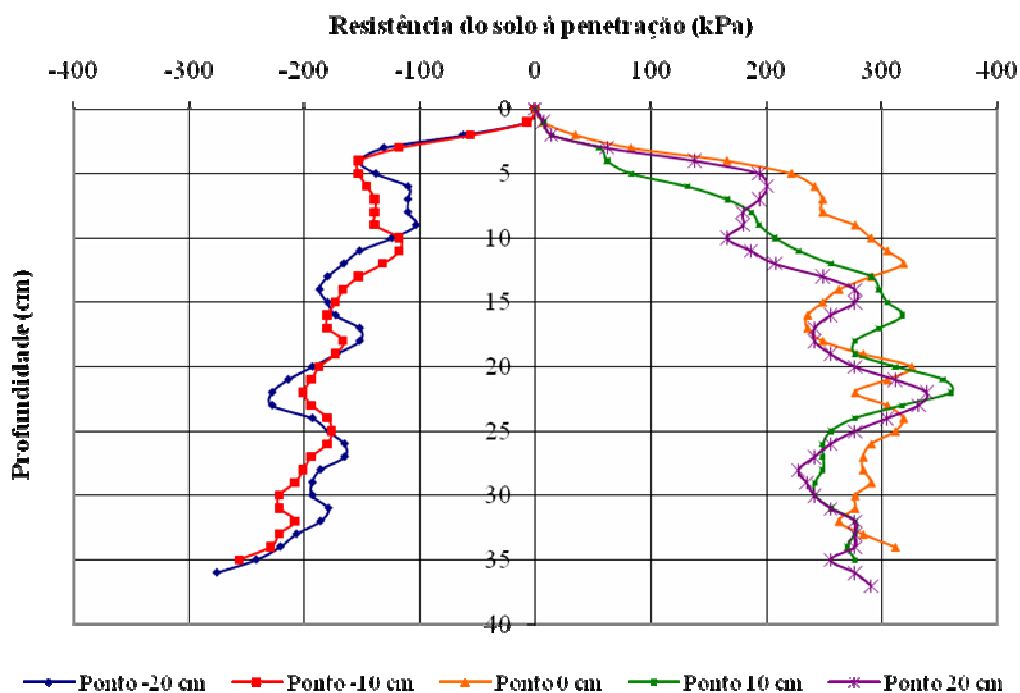


Figura 5 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 0,5 kN (Diagonal maior).

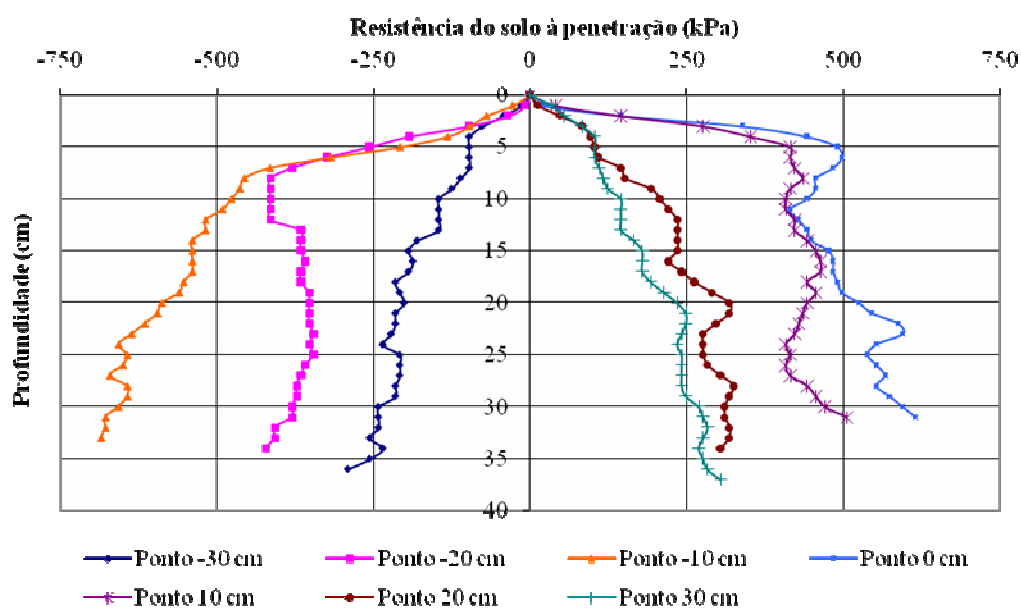


Figura 6 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 1,0 kN (Diagonal menor).

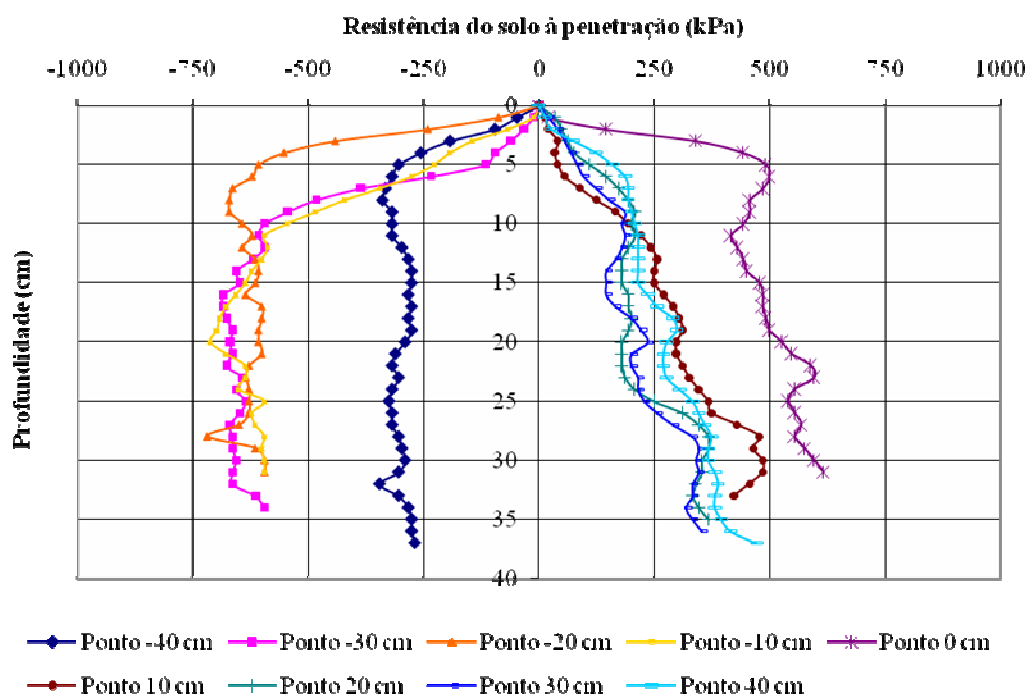


Figura 7 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 1,0 kN (Diagonal maior).

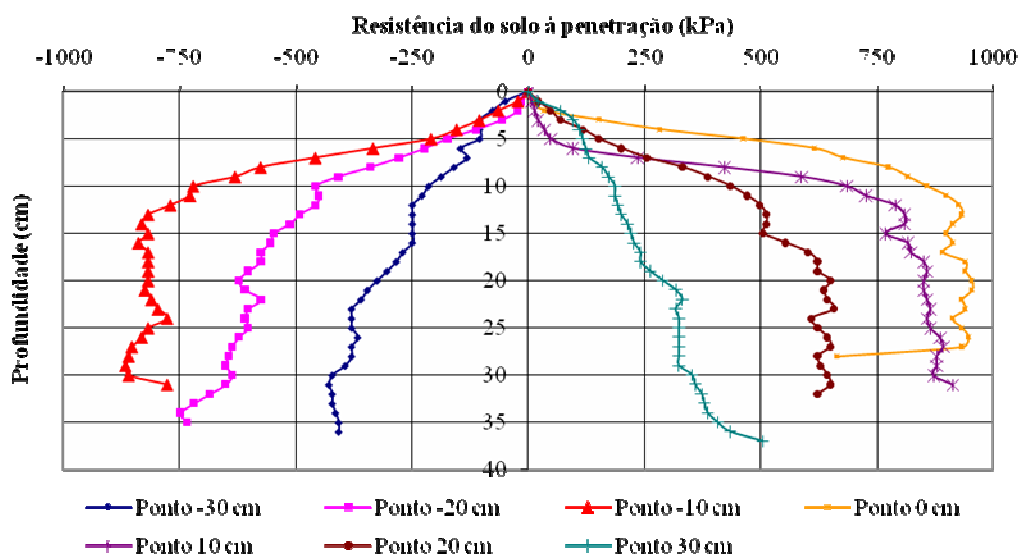


Figura 8 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 1,5 kN (Diagonal menor).

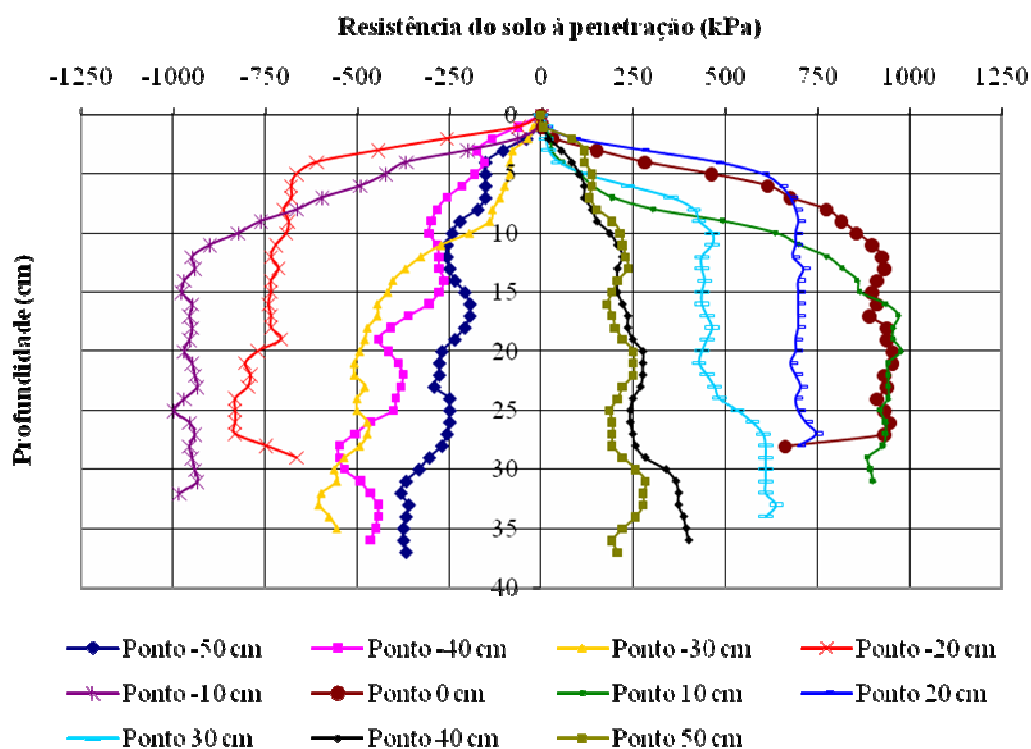


Figura 9 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 1,5 kN (Diagonal maior).

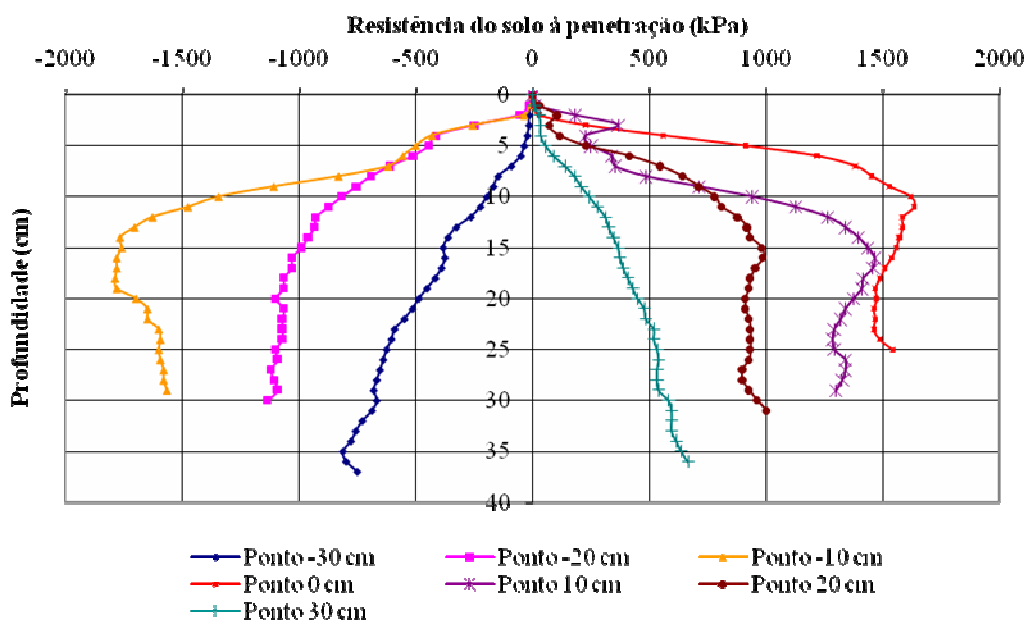


Figura 10 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 2,0 kN (Diagonal menor).

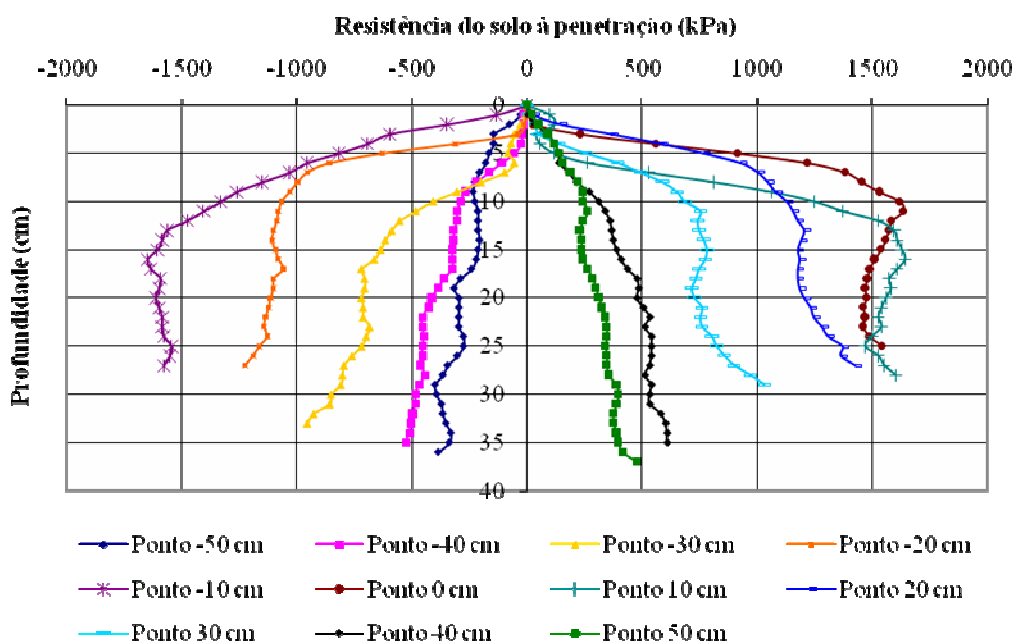


Figura 11 – Linhas de resistência do solo à penetração no tanque através do penetrômetro elétrico-eletrônico para a força aplicada de 2,0 kN (Diagonal maior).

Conclusão

A distribuição de tensão imposta pelo pneu ao solo foi simétrica para todas as forças aplicadas pelo rodado.

O aumento das forças normais ao solo resultou em aumento dos valores de resistência do solo à penetração, o que foi detectado pela sensibilidade do penetrômetro elétrico-eletrônico.

As maiores resistências do solo à penetração estão concentradas ao centro da área de contato pneu-solo, isto pode ser atribuído ao fato de que pneus diagonais possuem menores áreas de contato.

Referências

GILL, W.R., VANDEN BERG, G.E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: USDA, 1967. 511 p.

LANÇAS, K.P. **Desempenho operacional de pneus radiais em função da pressão de inflação, da lastragem e do deslizamento das rodas de tratores agrícolas**. 1996. 170p. Tese (Livre Docência na disciplina de Mecânica Aplicada do Departamento de Engenharia Rural) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

LANÇAS, K.P. Diagnóstico e controle localizado da compactação do solo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO AGRONEGÓCIO DO ALGODÃO/SEMINÁRIO ESTADUAL DA CULTURA DO ALGODÃO, 5. 2000, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, p. 25-32.

LEITE, F. **Projeto, desenvolvimento e avaliação de um penetrômetro elétrico-eletrônico para uso em tanques de solo**. 2004. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LÉPORE, N.F.P.; STEFFEN JR. Estudo da redução da potência e da força de arraste num implemento agrícola vibratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA. 7. 1983, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: Associação Brasileira de Engenharia Mecânica, 4 p.

MAZIERO, J.V.G. **Compactação do solo por patinagem da roda motriz de um trator agrícola**. 1993. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

NAGAOKA, A.K. **Desenvolvimento e avaliação do desempenho de um equipamento para ensaio dinâmico de rodado agrícola individual**. 2001. 206p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 2001.

RAPER, R.L.; BAILEY, A.C.; BURT, E.C.; WAY, T.R.; LIBERATI, P. The effect of reduced inflation pressure on soil-tire in interface stress and soil strength. **Journal of Terramechanics**, v.32, n.1, p.43-51, 1995.

Recebido em: 10/12/2009

Aceito para publicação em: 03/02/2010

Cascavel, v.3, n.1, p.53-63, 2010