ISSN 1517-4778

19
Circular Técnica

São Carlos, SP
Novembro, 2003

Instrumentação para Tomada de Decisão na Avaliação da Resistência do Solo à Penetração de Raízes

Autores

Ladislau Marcelino Rabello
Engenheiro Elétrico, Dr.
Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP
rabello@cnpdia.embrapa.br

Paulo Estevão Cruvinel
Engenheiro Elétrico, Prof. Dr.
Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP
cruvinel@cnpdia.embrapa.br

RESUMO

Um instrumento para auxilio à tomada de decisão em processos que envolvem avaliações da resistência do solo à penetração de raízes, foi desenvolvimento para a medida da resistência do solo à penetração de raízes podem ser realizados tanto em ambiente laboratorial como diretamente em campo agrícola. No seu desenvolvimento utilizou-se o enfoque da instrumentação inteligente, bem como uma microsonda (ângulo de cone de 30º, diâmetro de base de 1,6 mm e comprimento total de 30 mm) sensoriada por célula de carga. Resultados mostram que medidas de resistência do solo à penetração de raízes podem ser realizadas até um limite de (49,030,07)kgf com resolução de 1,57kgf. Adicionalmente, a versatilidade do sistema é verificada para a coleta de dados e interpretação da resistência do solo à penetração de raízes, uma vez que podem ser apresentados na forma de tabelas, gráficos unidimensionais, mapas bidimensionais e mapas tridimensionais. Desta maneira, o sistema possibilita ao usuário uma rápida interpretação sobre o estado de agregação do solo em áreas de cultivo agrícolas.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo, para a produção em larga escala de alimentos, tem gerado alguns problemas quanto a manter a sua capacidade produção. O aumento da produtividade e da área plantada têm sido conseguido com a utilização de máquinas e implementos agrícolas cada vez maiores, mais potentes e pesados, gerando um efeito cumulativo da compactação da camada agriculturável do solo. Vários anos de manejo numa determinada área, a compactação afeta a dinâmica da água e de nutrientes, além de comprometer o desenvolvimento radicular e a aeração (Silva, 1999).

A quantificação da compactação é realizado por instrumentos denominado de penetrômetros, que medem a resistência do solo à penetração de uma haste com uma ponta em forma de cone, de ângulo de ponta igual a 30º

A formação de camadas superficiais de compactação de solos, tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores nos efeitos sobre a emergência das sementes, infiltração de água e erosão do solo (Duley, 1939; Morin et al., 1981). Penetrômetros, não possuem uma precisão razoável para medir o grau de compactação da crosta do solo compactado e de quantificação da força que uma semente realiza no momento da germinação, para vencer esta crosta, e do desenvolvimento da raiz nesta região. Pequenas sondas tem sido usadas para simular força de penetração de raizes, (Groenevelt et al., 1984; Grant et al., 1985), mas em escala de laboratórios para caracterizar a estrutura do solo.

Foto: Ladislau M. Rabello

Em condições de campo a medida de resistência do solo à penetração é influenciada por vários fatores, tais como, organismos vivos, cobertura e resíduos de plantas fendas, etc., que em laboratórios são difíceis de se reproduzirem, sendo desejável medir e caracterizar as condições físicas e mecânicas do solo diretamente em condições reais de campo. No Qual é esperado uma grande variabilidade que podem ter influências significativas sobre as propriedades físicas no controle de alguns processos tais como infiltração, difusão de gás, evaporação e brotamento da semente (Rolston, et al. 1991).

Assim, foi desenvolvido um instrumento que possibilita medir a força de resistência do solo à penetração na camada superficial do solo e no perfil, em campo e que possa realizar a medida de resistência do solo à penetração de raízes, tanto em um único sitio de coordenada (x,y) como em uma determinada área, fornecendo os resultados em forma de tabela e gráficos, por meio de uma interface computacional amigável, gerando mapas bidimensionais e tridimensionais dos sítios de medidas, para o auxilio a tomada de decisão em processos agrícolas (Cruvinel et al., 2002).

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema desenvolvido é composto por um módulo mecânico, um módulo automatizado microprocessado, responsável pelo controle de posicionamento da microsonda de medida da resistência do solo à penetração e um computador central responsável pelo gerenciamento geral e interface com o usuário.

A interface com o usuário é feita por um programa computacional desenvolvido para realizar funções, tais como: comunicação entre o sistema de controle e aquisição de dados e o computador central para a realização de determinadas tarefas; recebimento dos dados coletados das medidas de resistência do sola à penetração e organização desses dados em forma de um banco de dados para uso futuro.

A interpretação dos dados é fornecida ao usuário em forma de um relatório composto de tabela e gráfico das medidas em tempo quase real e de geração de mapas bidimensionais e tridimensionais possibilitando ao usuário auxilio à tomada a de decisão (Cruvinel et al., 2002).

MÓDULO MECÂNICO

O módulo mecânico é composto por uma mesa XYZ para a localização espacial do sensor de medida de resistência mecânica à penetração no solo. A mesa XYZ é sustentada por fusos e guias de deslocamento localizados em um suporte sobre uma estrutura de apoio, possui dois ajustes de posição um manual para localização do sensor, somente na direção do eixo X, e um automático que a localiza em qualquer coordenada dentro dos limites dos eixos.

O suporte da estrutura é feito de alumínio, composta de um armação retangular vazada, de dimensões 1,13 m por 0,52 m, com dois perfilados em forma de U, de dimensões 1,016 m x 0,127 m x 0,0635 m por 0,109 m de comprimento. A união destes dois perfilados é feita por duas chapas de tamanho 0,52 m x 0,12 m x 0,02 m. Toda a suspensão é sustentada por três pês ajustáveis, sendo que dois são localizados em cada extremidade da armação e um centralizado no lado oposto aos dois, para possibilitar o nivelamento da toda a estrutura.

O sistema de movimento da microsonda é composto de dois canos de alumínio de diâmetros diferentes, um interno de 50x10-3 m de diâmetro e outro externo de 60x10-3 m de diâmetro, de forma que o interno possa se movimentar dentro do externo tipo telescópio. O movimento é realizado, também, por meio de um fuso de esfera laminado de passo 5x10-3 m e diâmetro igual a 14x10-3 m, conectado a uma porca de esfera de passo 5x10-3 m, fixada no cano interno. Na extremidade superior, o fuso é ligado ao eixo de um motor de passo, esponsável pela movimentação da microsonda com incremento/decremento de 25 m por passo do motor.

Na extremidade oposta do motor esta montado o conjunto de medida de força composto por uma célula de carga, a microsonda e circuitos de alimentação e condicionamento do sinal da célula de carga. Na figura 1 é apresentada uma foto do sistema em uso no campo.

Figura 1 : Foto do sistema em campo.

A microsonda foi construída, baseada em modelagens descritas no trabalho de Rabello (2003a), a partir de um bastonete de tungstênio de diâmetro 1,6x10-3 m, sendo que para a microsonda foi usado o comprimento de 57x10-3 m e ângulo de ponta do cone de 30º. A microsonda é unida a célula de carga por meio de uma pinça de rosca.

MÓDULO ELETRÔNICO

O módulo eletrônico, é composto basicamente de uma unidade central microprocessada com o microcontrolador 80535; uma unidade de circuitos de potência para alimentação e conversão de sinais para os motores de passo e alimentação de tensão em geral; sistemas de posicionamento, compostos pelos motores de passo; célula de carga, circuito condicionador de sinal elétrico da célula de carga e um computador central, responsável pela interface usuário e sistema.

A comunicação serial com o computador é feita através de um cabo ligado em um conector DB9 fêmea, obedecendo o padrão RS-232.

A célula de carga utilizada tem, capacidade de 5,0 kg e sinal de saída nominal de 2,0 mV/V de excitação elétrica.

PROGRAMA COMPUTACIONAL

O programa computacional desenvolvido para o sistema é composto de dois subprogramas. Um dos subprogramas é residente na memória de programa da CPU 80535 e tem a função de receber os comandos de um computador externo para executar as tarefas de posicionamento da microsonda, aquisição de dados referente a resistência mecânica à penetração e de enviar

os dados colhidos de volta para o computador externo. O outro subprograma é para a interface com o usuário, responsável, de acordo com o usuário, pelo envio dos comandos ao microprocessador 80535; recebimento dos dados colhidos por ele e organização e processamento em banco de dados e geração de relatórios referentes as medidas de resistência mecânica do solo à penetração de raízes.

Este interface, permite ao usuário, acesso direto a todos os comandos necessários para o controle do sistema, como também a visualização em tempo quase real dos dados coletados das medidas de resistência do solo à penetração de raízes em forma de tabelas e gráficos bidimensionais (Rabello, et al., 2003b).

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGEM POR CAMADA DE PENETRAÇÃO

Este aplicativo foi desenvolvido para realizar a função de leitura dos dados gravados nas tabelas do banco de dados, criados pelo programa descrito anteriormente, e converter esses dados em uma imagem bidimensional por camada de penetração, visualizando as diferentes forças de penetração nestas camadas em um padrão de 256 níveis de cinza.

VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA

Conforme explicado anteriormente, as imagens geradas pelo programa computacional fornecem informações bidimensional por camada de penetração da microsonda, fazendo um total de 66 imagens separadas de 0,1x10-3 m nas primeiras 40 medidas e de 1,0x10-3 m nas 26 restantes.

A possibilidade de agrupar essas imagens umas sobre as outras fornece uma visão tridimensional das camadas subsuperficiais de como a resistência do solo à penetração de raízes se comporta. Para isto foi desenvolvido outro módulo computacional com a finalidade de se agrupar essas imagens bidimensionais em uma forma tridimensional, interpolando uma ou varias camadas entre os espaços de cada camada.

A interface volumétrica apresenta um pequeno menu para o acesso aos comandos essenciais no controle desta interface.

ERRO E FAIXA DE MEDIDA DOS SISTEMA

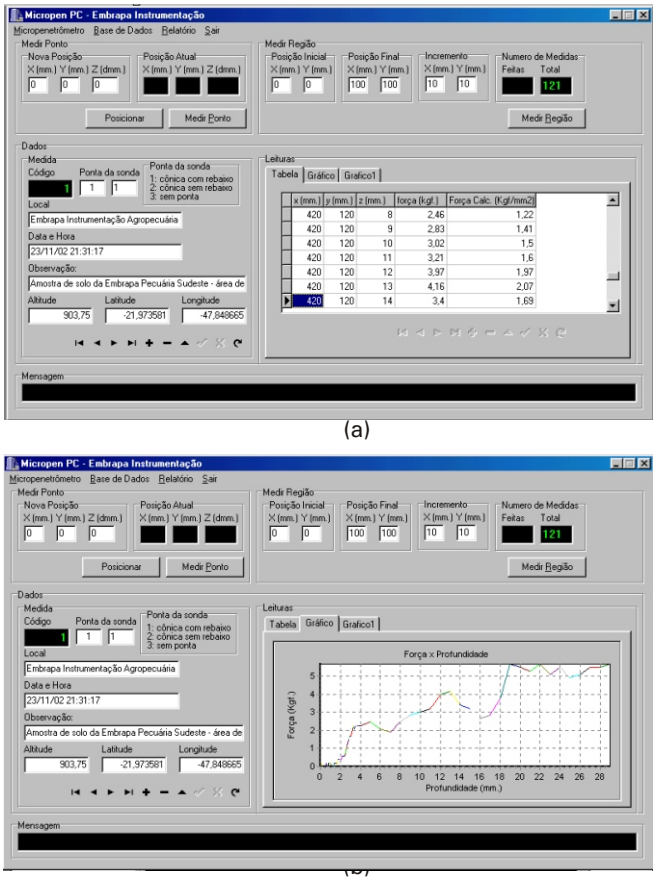
Os erros percentuais observados, tomados pelas médias dos valores apresentados foram respectivamente de 28,9 % para a faixa entre 0,00 kg a 0,10 kg, 2,2 % para a faixa de 0,20 kg a 0,50 kg, abaixo de 1% para a faixa de 0,60 kg a 5,00 kg. Observou-se que para valores de conversão iguais ou acima de 0,16 kg (1,57 kgf)o erro percentual médio ficou abaixo de 5%, onde o limite de medidas de resistência do solo à penetração de raízes pode ser realizado até 49,030,007 kgf (Rabello, 2003a)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validação do sistema, foram escolhidos três tipos de amostras coletadas no campo experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, a primeira amostra foi coletada com cilindro amostrador, a segunda, foi coletada como um bloco de terra de dimensões 0,30m x 0,30 m x0,20 m, ambas para ensaio em laboratório, Na terceira amostragem, as medidas foram realizadas em loco. Possuindo as seguintes coordenadas geofísicas, primeira amostra :latitude sul 21º58'24,8916" e longitude oeste 47º50'55,194"; segunda amostra latitude sul 21º57'10,9591" e longitude oeste 47º50'35,8174"; terceira amostra latitude sul 21º57'2,581336" e longitude oeste 47º50'50,7862"

Os solos das respectivas localidades são classificados como Latossolo vermelho-amarelo distrófico (textura argilosa), Terra roxa estruturada eutrófica latossólica com latossolo roxo distrófico e Latossolo vermelho-amarelo distrófico (textura média).

A primeira amostra com cilindro amostrador foi ajustada em laboratório logo abaixo da sonda e dados os comandos de aquisição de dados. Parte dos resultados dessas medidas são ilustrados na figura 2, com a respectiva interface com o usuário, mostrando tanto em forma de tabela como em gráfico.



(a)

Figura 2 : Resultado da coleta com o cilindro amostrador, para perfil de um único sitio, ilustrando os dados no painel Leituras em (a) Tabela e (b) gráfico.

VISUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS COM MAPAS BIDIMENSIONAIS

Utilizando a amostra de bloco de solo, o sistema foi posicionado em um sítio, em um extremo da amostra, resultando medidas em um formato de uma grade de 19 por 19 sítios com 66 medidas por sítio.

O ensaio com o bloco de solo gerou uma base de dados com dimensão de 23826 linhas por 6 colunas. Um exemplo da variação da resistência do solo à penetração

com a profundidade pode ser observada no gráfico da figura 3 tomando como exemplo uma coordenada no interior do bloco.

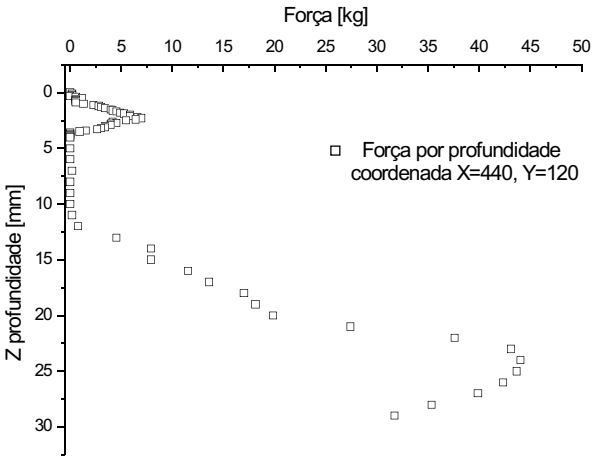


Figura 3 : RSPRxPosiçãoxProfundidade para as coordenadas X = 440 e Y = 120.

A visualização de dados da resistência do solo à penetração de raízes em forma de tabela ou gráfico unidimensional é dificultada à medida que ocorre um aumento da base dos dados. Para esses casos, a geração de mapas bidimensionais vêm a ser uma ferramenta útil. Conforme é ilustrado na figura 4, os mapas ilustram a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em diferentes profundidade dos perfis ensaiados.

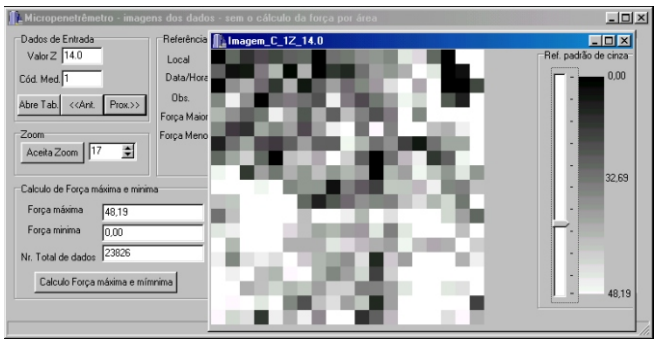


Figura 4 : Visualização da resistência do solo à penetração em uma camada na profundidade de 14,0 mm.

VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DE RAÍZES NO PARA A AMOSTRA DE BLOCO DE SOLO

Adicionalmente à ferramenta para visualização de mapas bidimensionais de resistência do solo à penetração, a visualização volumétrica foi obtida com a interpolação de planos entre os planos medidos. Assim, com a utilização dos algoritmos computacionais os mapas bidimensionais foram utilizados para gerar um mapa tridimensional dos dados coletados com a amostra do bloco de solo ensaiado, conforme ilustrado na figura 5, com corte transversal, o corte coronal e o corte sagital.

Esta ferramenta do sistema, além de permitir uma visualização em toda a extensão da amostra, permite a visualização da variação da resistência do solo à penetração por camada e em tempo real com seus respectivos cortes. Também, viabiliza ferramenta de threshold, selecionando a faixa de valores referentes a RSPR e visualização de onde elas estão atuando dentro da amostra.

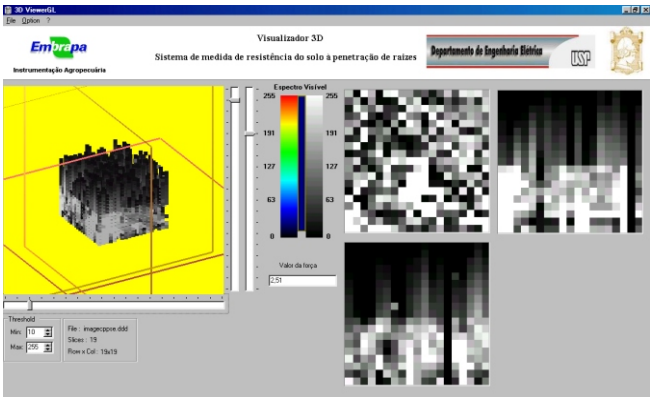


Figura 5 : Visualização volumétrica da resistência do solo à penetração de raízes, em escala de cinza, da amostra de bloco de solo.

MEDIDA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DE RAÍZES EM CAMPO

Os ensaios de campo foram realizados em uma área selecionada, localizada próxima a uma plantação de cana-de-açúcar, o instrumento foi primeiramente nivelado com a superfície do solo, uma bateria de carro com tensão de 12 Vdc, com capacidade de corrente 45 Ah, foi utilizada para suprir potência elétrica à instrumentação de medida, o computador central utilizado foi um computador portátil marca Acer modelo Extensa 368D, com microprocessador 486 operando em 200 MHz e 32 Mb de RAM.

A coleta de dados foi realizada dentro de uma área de 0,27 m x 0,27 m, com variação de 0,15 m de distância entre elas. O número de dados gerados com esta base de coordenadas correspondem a uma matriz que envolveu 19 x 19 pontos por 66 níveis de profundidade, o que levou a um total de 23826 registros.

Com o objetivo de se caracterizar o ensaio de campo, bem com devido ao grande número de dados, foi selecionado uma coordenada, para se verificar a variação da resistência do solo à penetração de raízes, representada na figura 6.

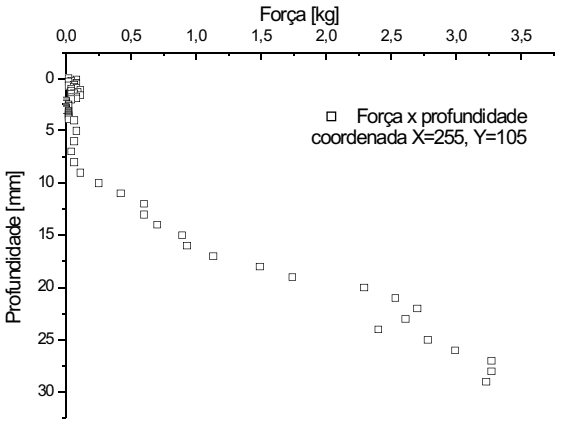


Figura 6 : Variação da resistência do solo à penetração em função da profundidade Z, para as coordenadas X = 255 e Y = 105.

Observa-se, para alguns pontos de profundidade, o valor da força igual a 0,0 kgf, mesmo nas leituras efetuadas em laboratório, isto se deve ao fato da microsonda encontrar no interior da amostra regiões em vazio, o que ocorre, por exemplo, devido a presença de rachaduras internas, ou buracos deixados por materiais como raízes decomposta ou formigueiros ou ainda outras espécies de insetos ou fauna, ou mesmos poros naturais.

A seqüência de mapas bidimensionais, representativos, gerados no ensaio, podem ser observadas na tabela 2.

Tabela 1: Seqüência representativa de mapas bidimensionais das medidas de resistência do solo à penetração de raízes para os dados coletados para Z = 0,0 mm, Z = 9,0 mm, Z = 17,0 mm, Z = 22,0 mm e Z = 29,0 mm

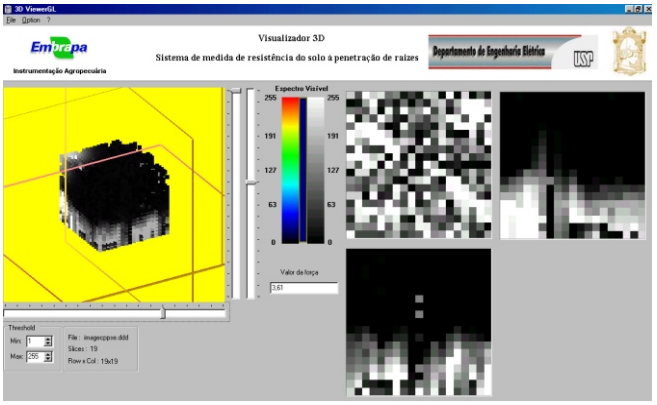
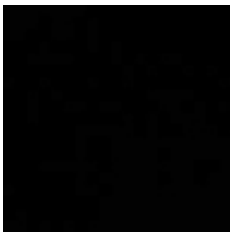
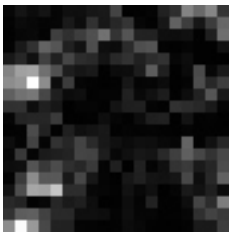


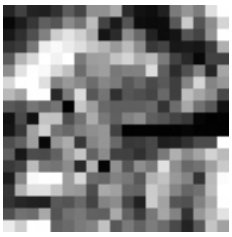
Figura 7 : Mapa tridimensional dos dados de resistência do solo à penetração de raízes coletados no ensaio de campo.



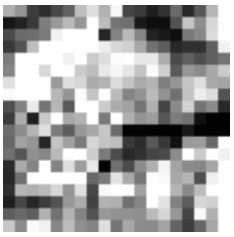
Profundidade z = 0,0



Profundidade z = 9,0



Profundidade z = 17,0



Profundidade z = 22,0

Profundidade z = 29,0

No ensaio, a partir da profundidade z = 5,0 mm, observou-se o início da formação de uma área maior resistência ao avanço da microsonda, o que também o seria para raízes de plantas.

As características do solo onde foram feitas as medidas possui densidade de acordo com a profundidade conforme representada na tabela 2, medida com um Analisador Granulométrico de Solos (Vaz et al., 1992)

Tabela 2 : Densidade em função da profundidade do solo de medida

Coeficiente de atenuação do Solo a 60 KeV	0.296 cm^{-1}
Número do Recipiente	1.00
Espessura da amostra	6.78 cm
Tempo de Aquisição	90 segundos
Comprimento da Amostra	5.00 cm
Distancia entre medidas	0.50 cm
Repetições	1
Umidade média do solo na área do experimento< >	9,83 %
Posição(cm)	**Densidade(g cm^{-3})**
0.0	0.979
0.5	1.194
1.0	1.287
1.5	1.256
2.0	1.258
2.5	1.212
3.0	1.176
3.5	1.273
4.0	1.223
4.5	1.224

A informação volumétrica da resistência do solo à penetração de raízes obtida no ensaio de campo a partir dos mapas bidimensionais, com seus cortes transversal, coronal, sagital, é vista na figura 7.

CONCLUSÕES

O presente desenvolvimento de um instrumento para o auxilio a tomada de decisão em processos que envolve a avaliação da resistência do solo à penetração, constitui-se em uma nova e avançada ferramenta, que viabiliza mediante análise em tempo quase real, incluindo programações, informações que levam em conta a variabilidade espacial na área e no perfil, da compactação natural ou artificial, de amostras de solos em laboratório ou diretamente no campo agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUVINEL, P. E.; PUGSLEY, L.; CARAMORI, P. H. Modelagem para otimização de zona de risco em sistemas agrícolas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. Anais... [Cuiabá: 200-]. p.00-00.

DULEY F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v. 4, p. 60-64, 1939.

GRANT, C.D.; KAY, P.H.; GROENEVELT, P.H.; KIDD, G.E.. Spectral analysis of micropenetrometer data to characterize soil structure. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v.65, p. 789-804, 1985.

GROENVELT P.H.; KAY B.D.; GRANT C.D. Physical assessment of soil with respect to rooting potential. Geoderma, Amsterdam, v. 34, p. 101-114, 1984.

SILVA, Manfredo Luiz Lins e. Modelagem matemática na estimativa da densidade de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, pelo índice de cone. 1999. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MORIN J.; BENYAMINI Y.; MICHAELI A. The effect of rain-drop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. J. Hydrol., Amsterdam, v. 52, p. 321-335, 1981.

RABELLO, L. M. Instrumentação avançada para tomada de decisão na avaliação da resistência do solo à penetração de raízes. 2003a. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RABELLO, L. M.; KOENINGKAN, L.V.; PEREIRA, M. F. L.; CHIARI, F.F. ; CRUVINEL, P. E. Programa computacional e interface com o usuário para o controle, aquisição de dados e processamento de sinais para medida de resistência do solo à penetração de raízes. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 2003b. 89 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico). No prelo.

ROLSTON, D.E.; BEDAIWY, N.A.; LOUIE, D.T. Micropenetrometerfor for in Situ Measurement of Soil Surface Strength. Soil Sci. Am. J., Madison, v.55, p. 481-485, 1991.

VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil Mechanical Analysis through gamma ray attenuation. Soil Technology., Amsterdam, V.5, p.319-325, 1992.

Circular Técnica, 19

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2003: tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: *Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso*
Secretária Executiva: *Janis Aparecida Baldovinotti*
Membros: *Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis, Dr. João de Mendonça Naime, Dr. Rubens Bernardes Filho, Dr. Washington Luiz de Barros Melo*
Membro Suplente: *Débora Marcondes B. P. Milori*

Expediente

Supervisor editorial: *Dr. Odílio B. Garrido de Assis*
Revisão de texto: *Janis Aparecida Baldovinotti*
Tratamento das ilustrações: *Valentim Monzane*
Editoração eletrônica: *Valentim Monzane*