

IICA
PROCISUR
DIALOGO-39



PROCISUR



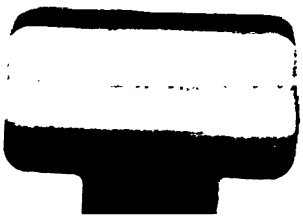
Sres.
DICCAL - Biblioteca
IICA
Apartado 55
2200 Coronado, San José
Costa Rica

FLOR

DIALOGO XXXIX

METODOLOGIAS PARA INVESTIGACION EN MANEJO DE SUELOS

PROGRAMA COOPERATIVO PARA EL DESARROLLO
TECNOLOGICO AGROPECUARIO DEL CONO SUR



PROGRAMA COOPERATIVO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROPECUARIO DEL CONO SUR
PROCISUR

DIALOGO XXXIX

METODOLOGIAS PARA INVESTIGACION EN MANEJO DE SUELOS

EDITOR: *Dr. Juan P. Puignau*
CO-EDITORES: *Dr. J.E. Denardin*
Ing. Agr. R.A. Kochhann
Ing. Agr. D.R. Motter
Dr. P.C. Wall

IICA
Montevideo, Uruguay
1994

IICA
Diálogo No 39
PROCISUR
BV-7655

IICA

1994
no. 39

00001894

Reunión sobre metodología para investigación en manejo de suelos (1990 dic. 4-6 : Passo Fundo, RS, Brasil) Metodologías para investigación en manejo de suelos / Reunión sobre metodología para investigación en manejo de suelos. --ed. por Juan Pulgnau. -- Montevideo : IICA - PROCISUR, 1994
75 p. (Diálogo / IICA - PROCISUR; 39)

ISBN 92-9039-239 8

/SUELOS/ /MANEJO DEL SUELO/ /QUIMICA DEL SUELO/ /SISTEMA POROSO DEL SUELO/ /ESTRUCTURA DEL SUELO/

AGRIS P30

CDD 631.41

Las ideas y planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios del autor y no representan necesariamente el criterio del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

**Este DIALOGO reproduce los trabajos
presentados en la Reunión sobre
Metodologías para Investigación en Manejo de
Suelos realizada en Passo Fundo, Brasil,
del 4 al 6 de diciembre de 1990.**

**Esta actividad fue coordinada por el
Dr. José Eloir Denardin**



Presentación

D el 4 al 6 de diciembre de 1990, en las dependencias del Centro Nacional de Pesquisa de Trigo/EMBRAPA, Passo Fundo, Brasil, y en el marco del entonces Subprograma Cereales de Invierno del PROCISUR, se reunieron técnicos de los seis países que conforman el Programa, para intercambiar experiencias y conocimientos sobre **Metodologías para Investigación en Manejo de Suelos**.

Los aportes presentados por los participantes de este evento constituyen la interesante información que les hacemos llegar a través de este DIALOGO, el 39º de la serie. Aunque es una publicación del PROCISUR, corresponde destacar la importante participación del CIMMYT, tanto en la promoción del evento como en la recopilación de la información para su edición.

A pesar de tratarse de una publicación basada en actividades de los 'viejos' subprogramas del PROCISUR, la temática que aborda se enmarca perfectamente dentro del actual Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola, donde el manejo del suelo es un área de investigación prioritaria, por la importancia que tiene en la sustentabilidad de la producción agrícola.

Esperamos que esta publicación sea una contribución más de nuestro Programa al desarrollo de las capacidades regionales, ayudándolas en su esfuerzo en pro de más tecnología para los agricultores del Cono Sur.

Amélio Dall'Agnol
Secretario Ejecutivo PROCISUR

Índice

- Apresentação, por Amélio Dall'Agnol	1
- Prefácio, por J.E. Denardin e E.M. Reis	1
- Delineamento experimental e análise estatística na pesquisa em conservação do solo, por S.R. Vieira e I.C. de Maria	3
- Carbono orgânico do solo, por C.C. Cerri	13
- Estudo de raízes, por A.A. Righes. ✓	17
- Parâmetros químicos do solo, por J. R. Ben ✓	23
- Metodologia de pesquisa em manejo do solo: estrutura e porosidade do solo, por P.L. de Freitas e P. Blancaneaux	25
- Infiltração de água em pesquisa de manejo do solo, por D.J. Reinert ✓	43
- Densidad aparente y porosidad del suelo, por E.L. Almeyda ✓	45
- Aplicações do cone penetrômetro, por J.V. Perumpral e E. Ch. Mantovani ✓	51
- Aspectos microbiológicos do solo, por S. Urquiaga e H. de Polli ✓	57
- Cobertura do solo, por N.P. Cogo ✓	61
- Discussões gerais dos trabalhos em plenário	63
- Uma análise conclusiva das discussões, por P.C. Wall	69
- Lista de Participantes	71
- Nota del editor, por J.P. Puignau	75

PREFÁCIO

por Jose Eloir Denardin * e Erlei Melo Reis**

A Reunião sobre Metodologia de Pesquisa em Manejo de Solo foi realizada no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), localizado em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 04 a 06 de dezembro de 1990. A reunião foi organizada de forma integrada pela equipe de pesquisadores do CNPT, com o apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT) e do Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur (PROCISUR), tendo a participação de 57 pesquisadores oriundos da Argentina, da Bolívia, do Brasil, do Canadá, do Chile, do Paraguai e do Uruguai.

Muito embora a literatura aponte consideráveis progressos na caracterização de parâmetros físicos do solo e na sua importância para a avaliação de sistemas conservacionistas de manejo de solo, no Cone Sul têm se observado grandes dificuldades para a comparação de resultados de pesquisa obtidos em estudos desta natureza. Estas diferenças são observadas tanto entre o tipo de parâmetro avaliado como entre as metodologias de avaliação. O PROCISUR através de suas atividades veio oportunizar a constituição de um fórum de debates com potencialidades para solucionar esses problemas, contribuindo de forma decisiva para um melhor intercâmbio de informações na região, evitando duplicações de trabalhos e, conseqüentemente, economizando recursos financeiros escassos destinados à pesquisa.

A reunião teve por objetivos discutir e trocar experiências sobre metodologias de pesquisa em estudos de manejo de solo, com ênfase em análises de parâmetros físicos, e de padronizar um conjunto mínimo de determinações físicas, químicas e biológicas do solo que permitam a diferenciação de sistemas de manejo na Região do Cone Sul da América do Sul.

A sistemática utilizada para alcançar esses objetivos foi a de reunir pesquisadores, com experiência em estudos de manejo de solo, para exporem de forma resumida as metodologias utilizadas em estudos de manejo de solo, oportunizando, com isto, discussões sobre a priorização de parâmetros a serem avaliados, bem como sobre as vantagens de cada método e a padronização dos mesmos. Essa sistemática de trabalho caracterizou uma estratégia singular no contexto das reuniões técnicas realizadas no Cone Sul.

O programa estabelecido para a reunião foi cumprido. As discussões e as trocas de experiências atingiram os objetivos propostos. Contudo, o estabelecimento de um conjunto mínimo de parâmetros físicos, químicos e biológicos, com metodologias padronizadas para a diferenciação de sistemas de manejo de solo no Cone Sul, não alcançou os objetivos esperados, em função da inexistência de pesquisas de avaliação comparativa de métodos analíticos, especialmente, na área de física do solo.

Este documento condensa os trabalhos submetidos à publicação pelos pesquisadores convidados como expositores, e apresenta de forma resumida, o conteúdo das discussões estabelecidas em plenário, contemplando em seu final uma análise conclusiva destas discussões.

Nesta reunião, o Dr. Milton Costa Medeiros, pesquisador da EMBRAPA/CNPT, foi homenageado pelos dez anos de Coordenação Internacional do Projeto Trigo do PROCISUR.

Estamos conscientes de que dada a importância e a complexidade desse tema, há ainda um longo caminho a ser percorrido. Apenas o primeiro passo foi dado. Acreditamos que é extremamente necessário dar continuidade a esse processo, de modo que os métodos analíticos empregados nessa área sejam comparáveis, independentemente de local, de instituição ou de pesquisador, viabilizando uma troca de experiências mais eficiente ao nível do Cone Sul.

* Engenheiro Agrônomo, PhD, Coordenador da Reunião

** Engenheiro Agrônomo, PhD, Coordenador Internacional do Projeto Trigo-PROCISUR



Delineamento experimental e análise estatística na pesquisa em conservação do solo

por Sidney R. Vieira¹ e Isabella C. de Maria¹

RESUMO

Os solos não são homogêneos e muitas vezes suas propriedades não variam ao acaso, mas apresentam dependência espacial. Esta variabilidade espacial causa problemas em experimentos de campo, especialmente naqueles que utilizam parcelas grandes, como nos estudos de manejo do solo. O presente trabalho apresenta alternativas para análise estatística dos experimentos executados em parcelas grandes como, por exemplo, estudos de preparo do solo. Estes métodos levam em conta os efeitos da variabilidade espacial e apresentam um esquema de amostragem onde a posição do local amostrado é considerada. Três métodos são apresentados: uso de blocos incompletos, amostragem em transeção e amostragem em grade.

INTRODUÇÃO

Experimentos de conservação do solo, que estudam efeito de preparo do solo, calagem, rotação de culturas, perdas de terra e água por erosão, etc., idealmente devem ser realizados utilizando-se parcelas que permitam condições semelhantes àsquelas encontradas em agricultura comercial. Implementos de preparo que mobilizam o solo e alteram as condições físicas necessitam de parcelas grandes para mostrar o seu efeito. Porém, à medida que as parcelas aumentam, aumenta a variabilidade espacial dentro delas (Vieira et al., 1983; Prevedello, 1987).

Devido à necessidade de se utilizar parcelas grandes, além da maior sensibilidade à heterogeneidade do solo, poucas repetições dos tratamentos são feitas, principalmente para contenção de custos, etc. Assim, a probabilidade de detectar diferenças entre tratamentos é baixa nesses experimentos. Algumas propriedades tem grande variação e muitas repetições seriam necessárias.

A utilização de delineamento em blocos (Figura 1) pode auxiliar, mas não resolve totalmente o problema, porque nem sempre é possível conseguir um local homogêneo de tamanho suficiente para conter todos os tratamentos. Além disso, um bloco homogêneo pode não representar o solo da região em estudo. Por sua vez, a utilização de ensaios em faixas para facilitar a disposição das parcelas, quando analisados segundo estatística clássica, não é recomendada pela literatura, por diminuir a precisão na comparação entre tratamentos (Pimentel Gomes, 1966).

Ainda considerando a estatística clássica, nem sempre as variáveis analisadas tem distribuição normal e independência, e testes de comparação entre tratamentos não podem ser utilizados sem o conhecimento prévio destas condições. Diversas propriedades do solo não variam ao acaso, mas apresentam dependência espacial (Vieira et al., 1981; Burgess e Webster, 1980; Vieira et al., 1987).

Desta forma, novas opções de delineamento experimental e análise de experimentos tem sido propostos. Nestas, leva-se em consideração a variabilidade espacial das propriedades do solo, ao invés de evitá-las. Para isso a amostragem é realizada de tal forma que a posição de cada amostra seja conhecida.

¹ Pesquisador Científico, Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônomo de Campinas.

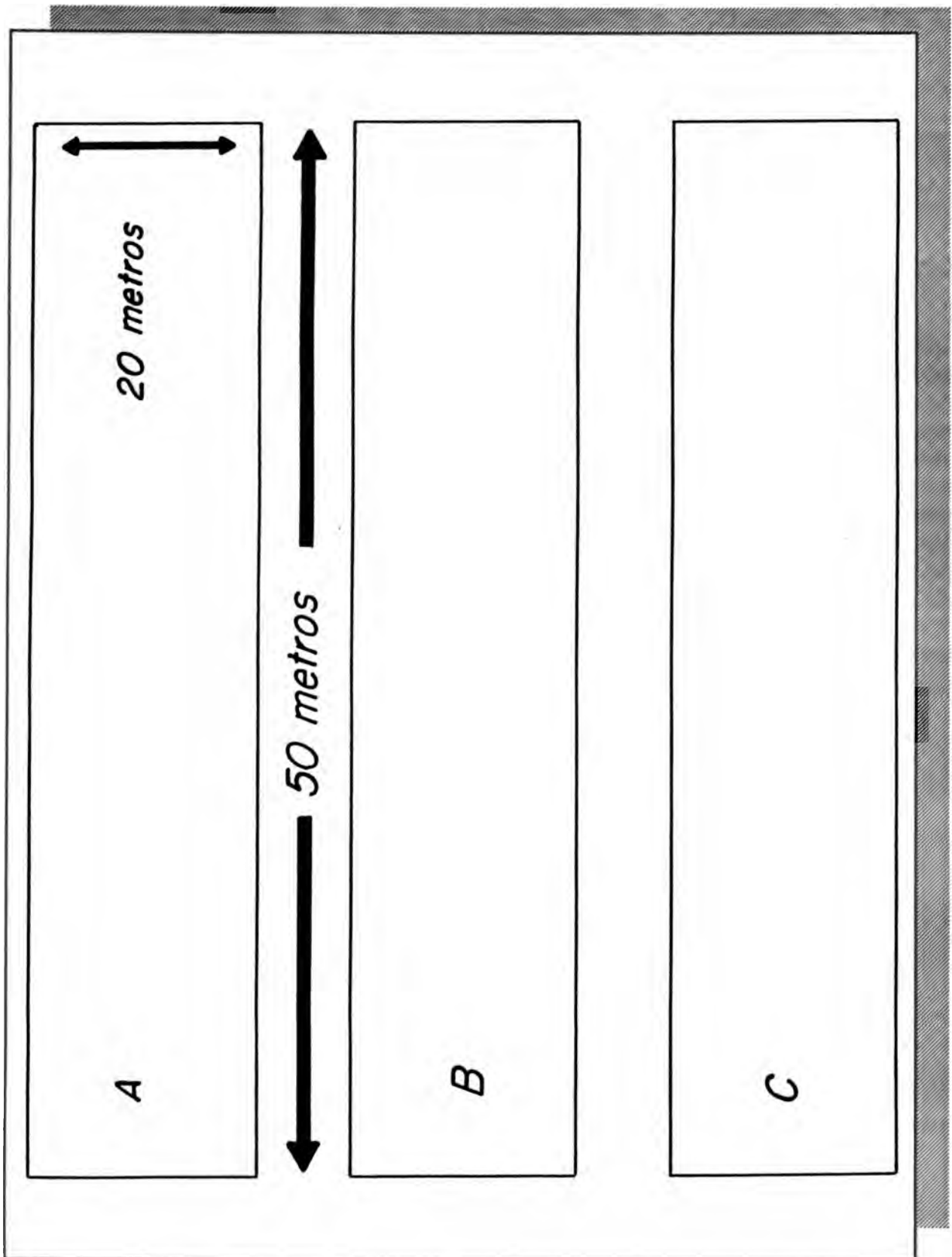


Figura 1. Esquema da variância em função da distância entre parcelas experimentais.

Serão apresentados, neste trabalho, três métodos de análise de experimentos que levam em conta a variabilidade espacial, enquanto que permitem o uso de parcelas grandes.

TEORIA

Muitas pesquisas tem sido feitas utilizando-se ferramentas da geostatística para análise da variabilidade espacial, principalmente o semivariograma (Burgess & Webster, 1980; Vieira et al., 1981; Vieira et al., 1983; Libardi, et al., 1966), que pode ser calculado através de:

$$\gamma(H) = \frac{1}{2N(H)} \sum_{i=1}^{N(H)} [Z(X_i) - Z(X_i + H)]^2 \quad (1)$$

onde, $N(H)$ é o número de pares de valores $[Z(X_i), Z(X_i + H)]$ separados por um vetor h .

O semivariograma expressa a estrutura espacial da variância, ou seja, observações tomadas a pequenas

distâncias são mais parecidas umas com as outras do que aquelas tomadas a distâncias maiores. O cálculo da equação (1) gera pares de valores de distâncias e semivariâncias correspondentes, aos quais deve-se ajustar uma equação modelo.

A Figura 2 mostra um semivariograma típico de uma variável com estrutura de variância, isto é, autocorrelacionada. Teoricamente $\gamma(0)=0$, como se obtém na equação (1) quando $h=0$. Porém, na prática, à medida que a distância que separa as amostras diminui, a semivariância calculada tende para um valor positivo chamado efeito pepita (C_0). Este valor representa a variabilidade existente dentro do espaçamento menor que o amostrado e confunde-se com o erro experimental. A medida que a distância (h) aumenta, a semivariância aumenta até um valor no qual se estabiliza, chamado patamar (C_0+C_1), aproximadamente igual a variância total dos dados. A distância onde a semivariância iguala-se ao patamar é denominada alcance, (a) e representa a distância máxima de autocorrelação espacial, ou seja, o raio de um círculo dentro do qual as medidas são correlacionadas umas com as outras.

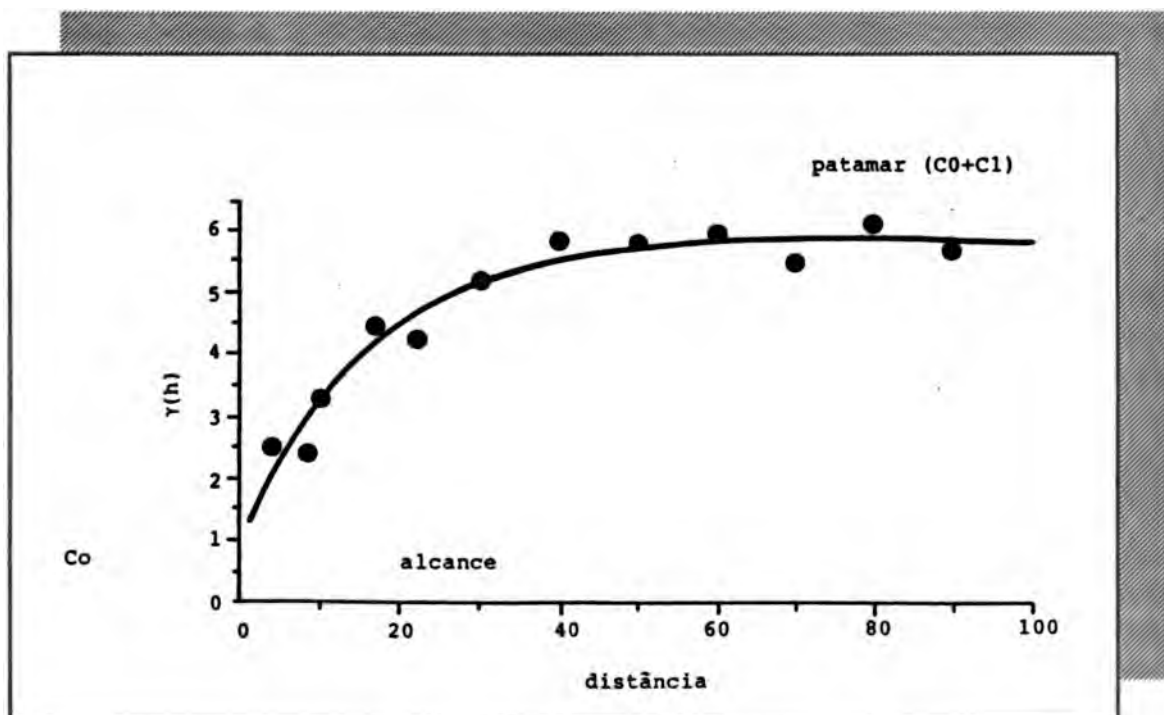


Figura 2. Semivariograma

Baseado nas informações acima tem-se que a separação física entre amostras é um fator muito importante na disposição espacial das parcelas experimentais.

USO DE BLOCOS INCOMPLETOS CONSIDERANDO A VARIABILIDADE ESPACIAL

O uso de delineamentos experimentais em blocos que contém todos os tratamentos, isto é, blocos completos, aumenta a chance de encontrar diferenças entre os tratamentos localizados nos extremos do bloco. Efeito oposto ocorre entre tratamentos vizinhos. A razão para isso é, exatamente, a presença de

estrutura de variância, expressa através da equação (1). Isto está ilustrado no esquema com quatro tratamentos na Figura 3.

Baseado nisso, Van Es et al. (1989) propuseram um delineamento estatístico com blocos incompletos. O esquema deste delineamento encontra-se na Figura 4. Cada par de parcelas constitui um bloco incompleto, como marcado pela linha tracejada.

Os tratamentos A e B formam um bloco incompleto em quatro locais diferentes: nas parcelas 1 e 2, 4 e 5, 7 e 8, e 10 e 11. Semelhantemente os pares com os tratamentos A e C, e B e C formam blocos incompletos em outros quatro locais do campo. Desta maneira,

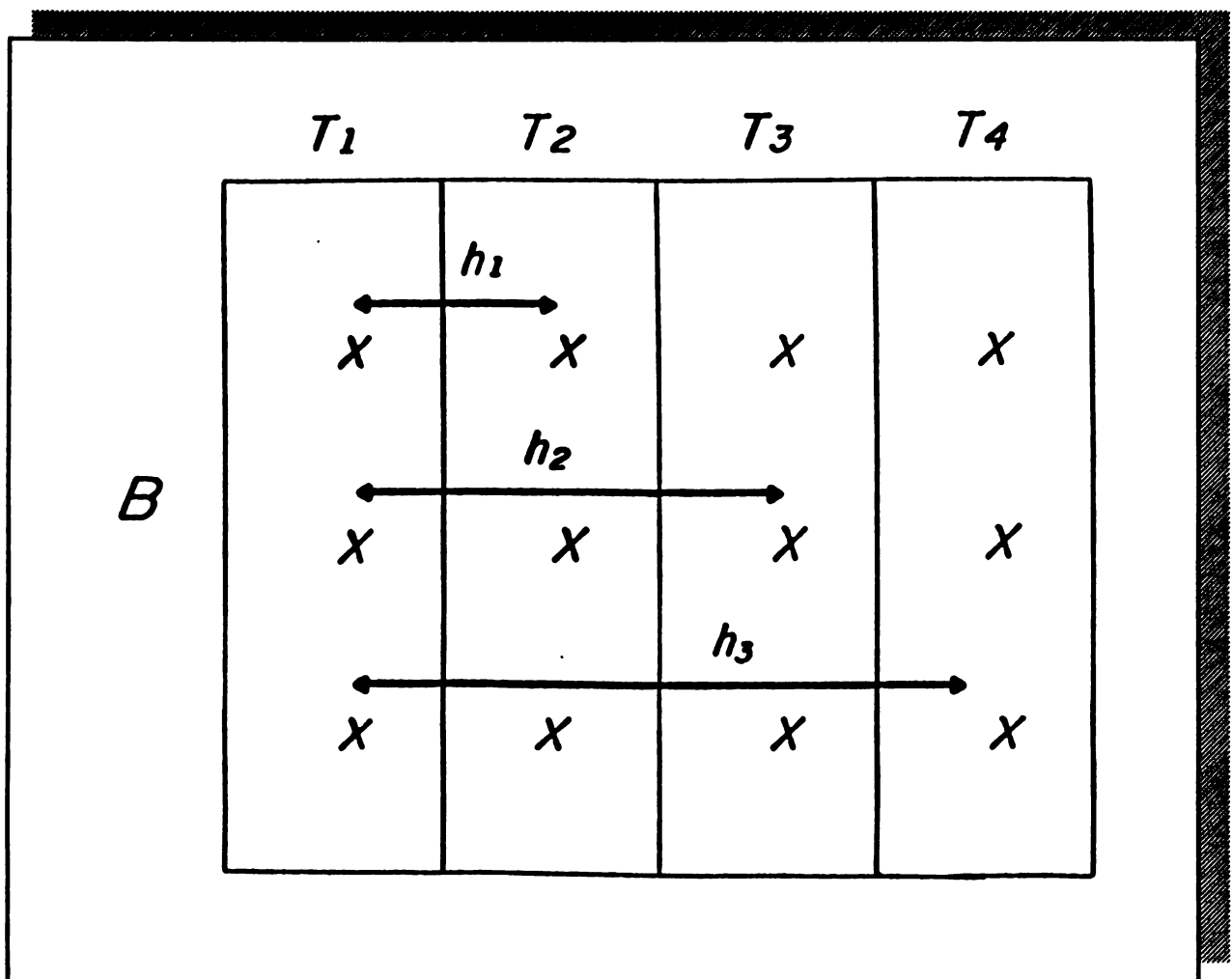


Figura 3. Esquema do delineamento de bloco completo.

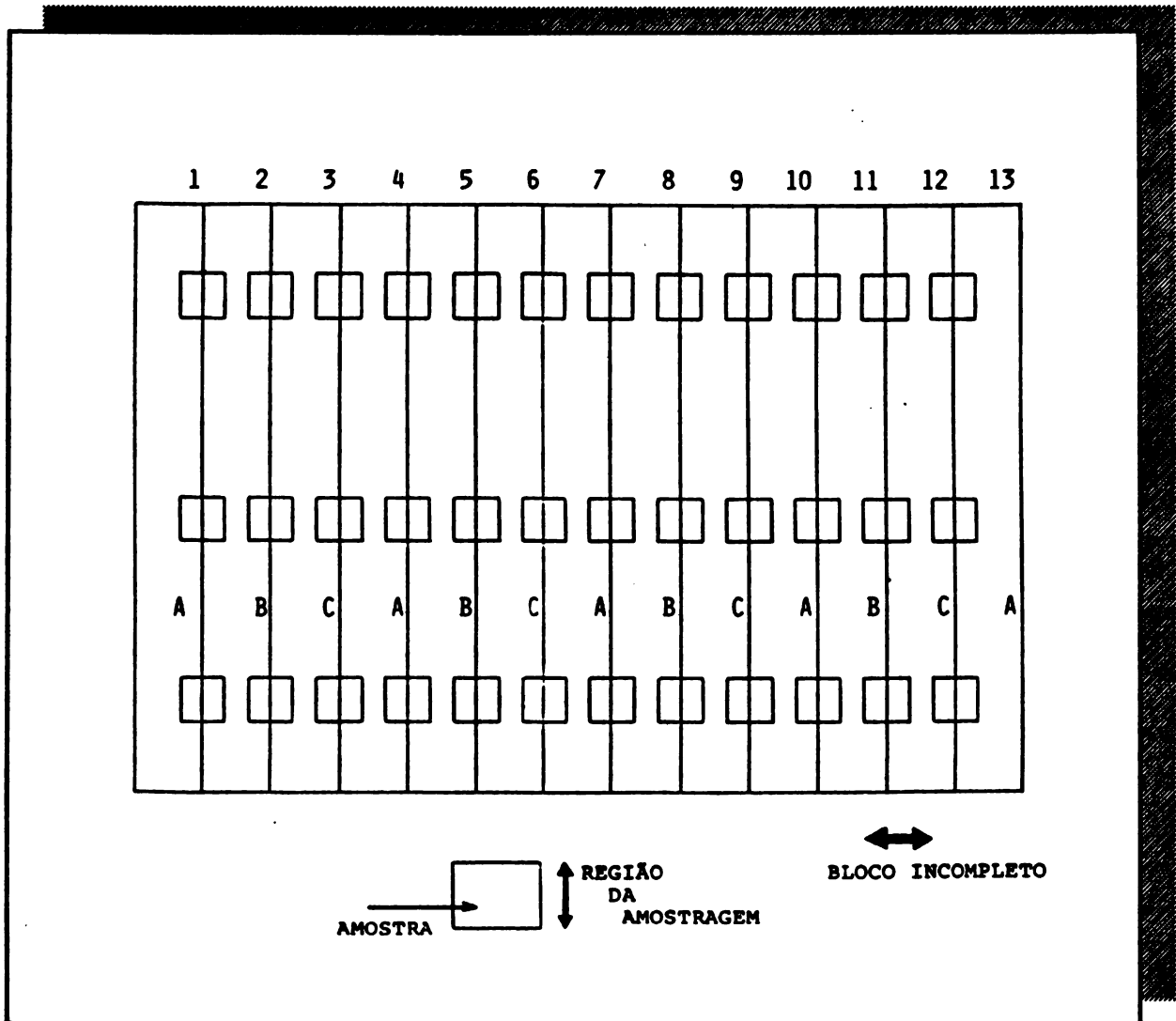


Figura 4. Esquema do delineamento de blocos incompletos.

cada tratamento é repetido quatro vezes, com exceção do tratamento A que é repetido cinco vezes, para garantir a existência de igual número de repetições de blocos incompletos.

Duas amostragens são efetuadas em cada região, uma em cada tratamento. A distância entre os pontos de amostragens numa dada região, é minimizada por imposição do delineamento e é uma constante em todas as regiões do experimento. O número de repetições (regiões de amostragem), por bloco incompleto, pode ser um número maior que três, de acordo com a variabilidade do local.

Para três tratamentos (A,B,C) o esquema mostrado tem 12 blocos incompletos (ou quatro blocos por par A-B, A-C e B-C), 36 regiões de amostragens (3×12) e 72 amostras ($2 \times 3 \times 12$).

A análise de variância para verificar o efeito de tratamento é realizada de acordo com o esquema apresentado no Quadro 1, onde t é o número total de tratamentos, b é o número de blocos incompletos, e r é o número de regiões de amostragem por bloco, que para o esquema da Figura 3 são, respectivamente, 3, 12 e 3. O valor de L é o número de vezes que cada par de tratamentos aparece junto. No esquema apresentado

L é 4. A soma de quadrado de tratamentos pode ser calculado por:

$$SQT = \sum (Q_i)^2 / 2Lr \quad (2)$$

onde $Q_i = 2 T_i - B_i$, T_i é o valor total das parcelas que receberam o tratamento i , e B_i é o valor dos blocos contendo o tratamento i .

Quadro 1. Análise de Variância

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.
Tratamentos	t-1	SQTR*
Blocos	b-1	SQB
TxB (Erro Exp.)	b-t+1	SQE
Erro Amostragem	2b(r-1)	SQEA
Região	b(r-1)	SQR
TxB	b(r-1)	SQTRR
Total	2b(r-1)	SQTOTAL

* SQTR = $Q^2 / 2 T$
 $Q_i = 2 T_i - B_i$

SQTR
 --- = F
 SQE

A divisão de SQT pelo erro médio quadrado gera o valor de F, cuja significância pode ser testada.

Usando blocos incompletos, o método estima o efeito de tratamento por meio de comparação a curta distância, prevenindo a amplificação do erro devido a variabilidade espacial e eliminando tendências causadas por distâncias variáveis entre parcelas.

EXPERIMENTO EM FAIXA COM AMOSTRAGEM EM TRANSEÇÃO

O esquema de amostragem para este delineamento está na Figura 5. As distâncias mostradas servem como sugestão e podem ser alteradas. O número de amostras por tratamento, entretanto, deve ser mantido

de, no mínimo, 20, para garantir precisão suficiente nos cálculos utilizados.

A idéia principal deste tipo de experimento consiste em amostrar em transeção com número de amostras suficientes para permitir a verificação da existência de estrutura na variância dentro de cada tratamento. Utilizando-se as amostras coletadas da maneira proposta no esquema da Figura 5, pode-se calcular o semivariograma através da equação (1). Neste ponto, existem duas alternativas distintas: a) existe estrutura na variância; e b) não existe estrutura na variância.

- Existe estrutura na variância

Neste caso, o gráfico do semivariograma parecer-se- com aquele da Figura 2, com os valores da semivariância aumentando com a distância até um determinado ponto, onde se estabiliza. Isto significa que a variabilidade espacial dentro do tratamento amostrado é organizada o suficiente para existir correlação entre amostras vizinhas. Conhecendo-se o semivariograma, pode-se calcular a correlação através de:

$$R(h) = 1 - \frac{\gamma(h)}{S^2(Z(x))} \quad (2)$$

Variância

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{r} \left\{ \frac{1 + 2^{n-1}}{r} \sum_{K=1}^{n-K} R(K) \right\} \quad (3)$$

A grandeza $\gamma(h)/\text{Var}(Z(x))$ tem sido definida como semivariância escalonada ($sc(h)$) (Vieira, et al., 1990). O exame de semivariogramas escalonados para cada variável nos diferentes tratamentos, colocados no mesmo gráfico, permitirá a comparação da variabilidade espacial dentro de cada parcela.

O cálculo das variâncias para cada tratamento, levando em conta a autocorrelação, pode ser efetuado segundo apresentado em Vauclin et al., 1982 e mostrado na equação (4). É possível, então, calcular limites de

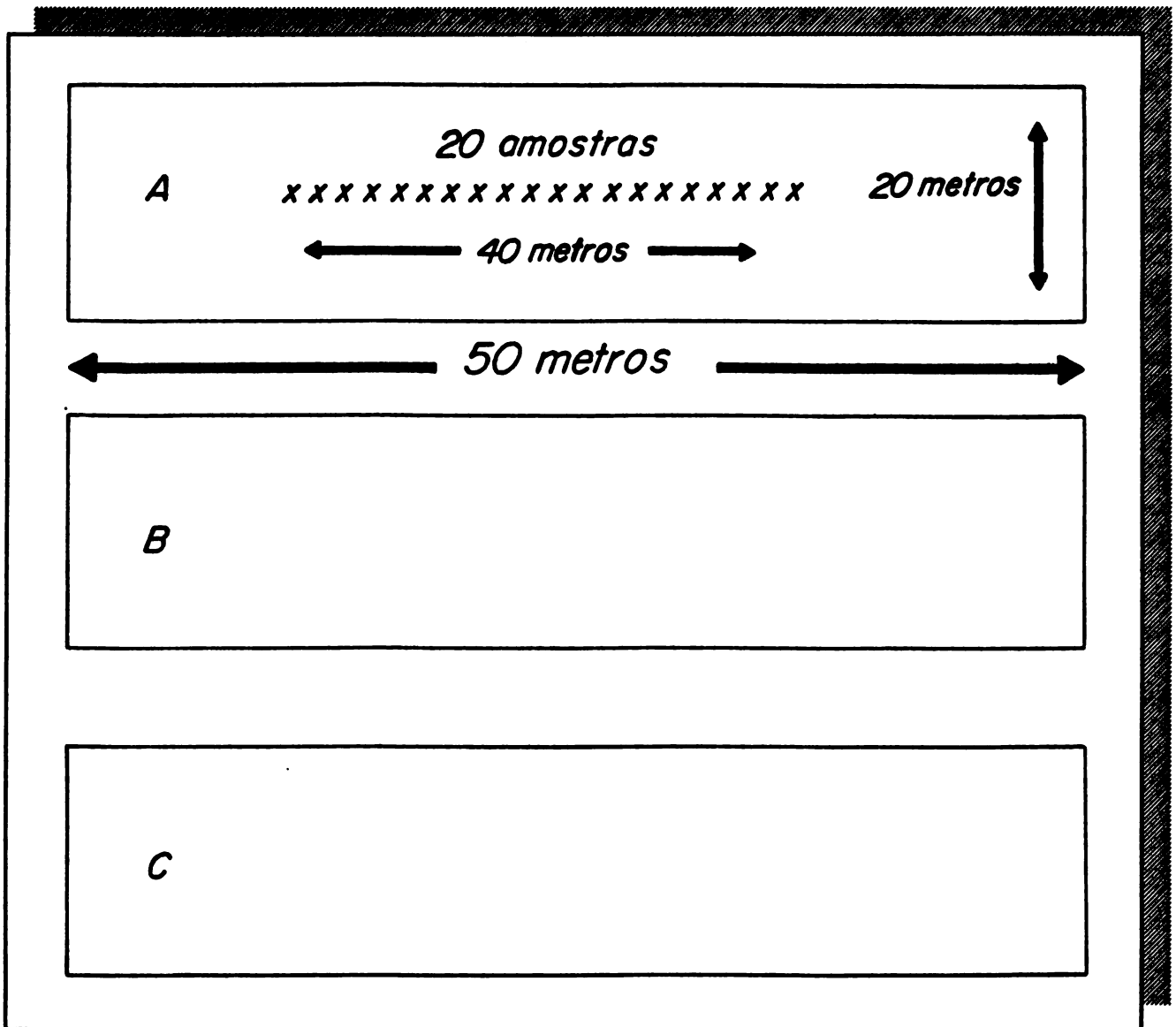


Figura 5. Esquema de amostragem do experimento em faixa, com amostras em transeção

confiança da média, ou parâmetro "t de student" segundo Snedecor e Cochran (1967), para verificação da significância de diferenças entre tratamentos.

Este tipo de amostragem não permite conclusão nenhuma sobre variabilidade espacial em outras direções diferentes daquela amostrada. Por outro lado, a distância amostrada é maior do que aquela amostrada em grade, como ser mostrado adiante.

- Não existe estrutura na variância

Se, examinando o semivariograma, puder-se concluir que o alcance (a), é menor do que o espaçamento entre amostras, então não existe autocorrelação espacial nenhuma. Neste caso, a variância e o intervalo de confiança podem ser calculados pelos métodos convencionais, para posterior cálculo do parâmetro "t de student".

EXPERIMENTO EM FAIXA COM AMOSTRAGEM EM GRADE

Para este tipo de experimento, o esquema de disposição das parcelas experimentais no campo é o mesmo daquele com amostragem em transeção, como também são as mesmas ferramentas geoestatísticas utilizadas. A mudança maior ocorre na interpretação dos resultados, a qual é mais profunda neste caso, devido às possibilidades adicionais oferecidas pela amostragem. O esquema de amostragem está na Figura 6.

A análise e comparação dos semivariogramas escalonados para cada variável, permite, neste caso, conclusões a respeito de mais de uma direção horizontal. Para uma mesma distância máxima amostrada, é mais provável encontrar autocorrelação para este tipo de amostragem do que para aquela em transeção. Além da comparação entre tratamentos, pode-se estudar também a variabilidade espacial dentro da parcela experimental. Este tipo de estudo é, particularmente útil quando envolve preparo do solo, porque, os vários sistemas de preparo do solo impõem comportamentos diferentes com respeito à variabilidade espacial.

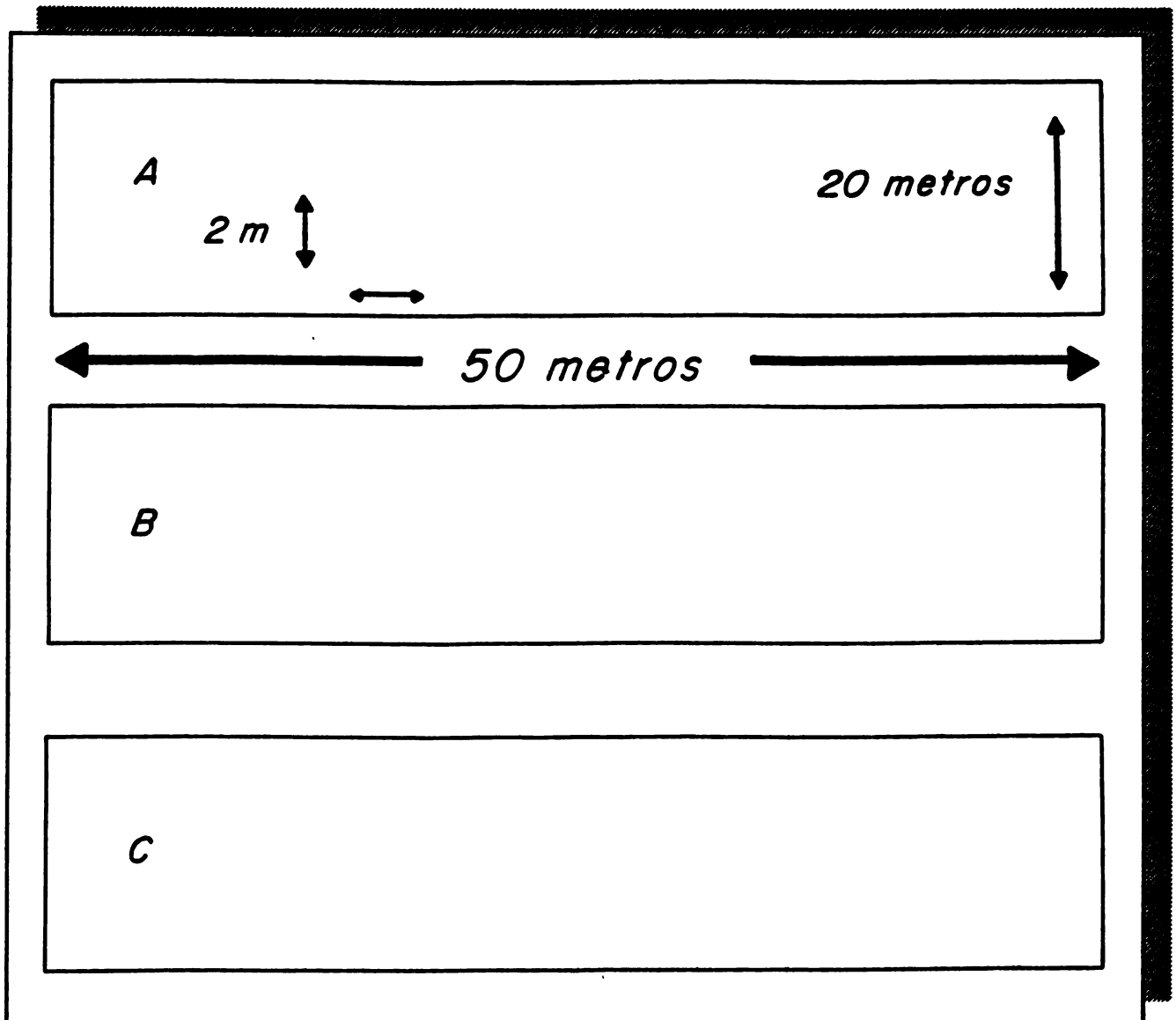


Figura 6. Esquema de amostragem do experimento em faixa, com amostras em grade.

Por exemplo, quando se estuda efeito do preparo do solo na infiltração, é de se esperar que o preparo com escarificador cause maior variabilidade do que o solo sem preparo, por causa do espaçamento entre hastas do escarificador, quebrando o solo sem revolver. Esta informação pode ser muito importante na interpretação de dados de balanço hídrico em função de preparo do solo.

CONCLUSÕES

Considerando que a nossa intenção não foi de determinar qual das alternativas propostas é a melhor, deixamos esta escolha para cada usuário, em sua situação particular.

Na nossa opinião, o delineamento de blocos incompletos é muito bem fundamentado e elaborado, estatisticamente. Entretanto, ele exige uma área de estudo, comparativamente maior do que os outros.

A amostragem dentro de cada faixa experimental com amostras dispostas na grade permite um maior número de análises estatísticas com o mesmo número de amostras do que qualquer um dos outros dois métodos. Por isto pode oferecer mais informações sobre cada tratamento amostrado, além da possibilidade de comparação.

LITERATURA CITADA

BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. 1980. Optimal interpolation and isotiethmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. *J. Soil Sci, London*, 31:315-331.

LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A. & MORAES, S.O. 1986. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *R. bras. Ci. Solo, Campinas*, 10:85-90.

PREVEDELLO, B.M.S. 1987. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 166 p. (Tese de Doutorado).

SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. 1967. *Statistical Methods*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 593 p.

VAN ES, H.M.; VAN ES, C.L. & CASSEL, D.K. 1989. Application of Regionalized Variable Theory to Large-Plot Field Experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53:1178-1183.

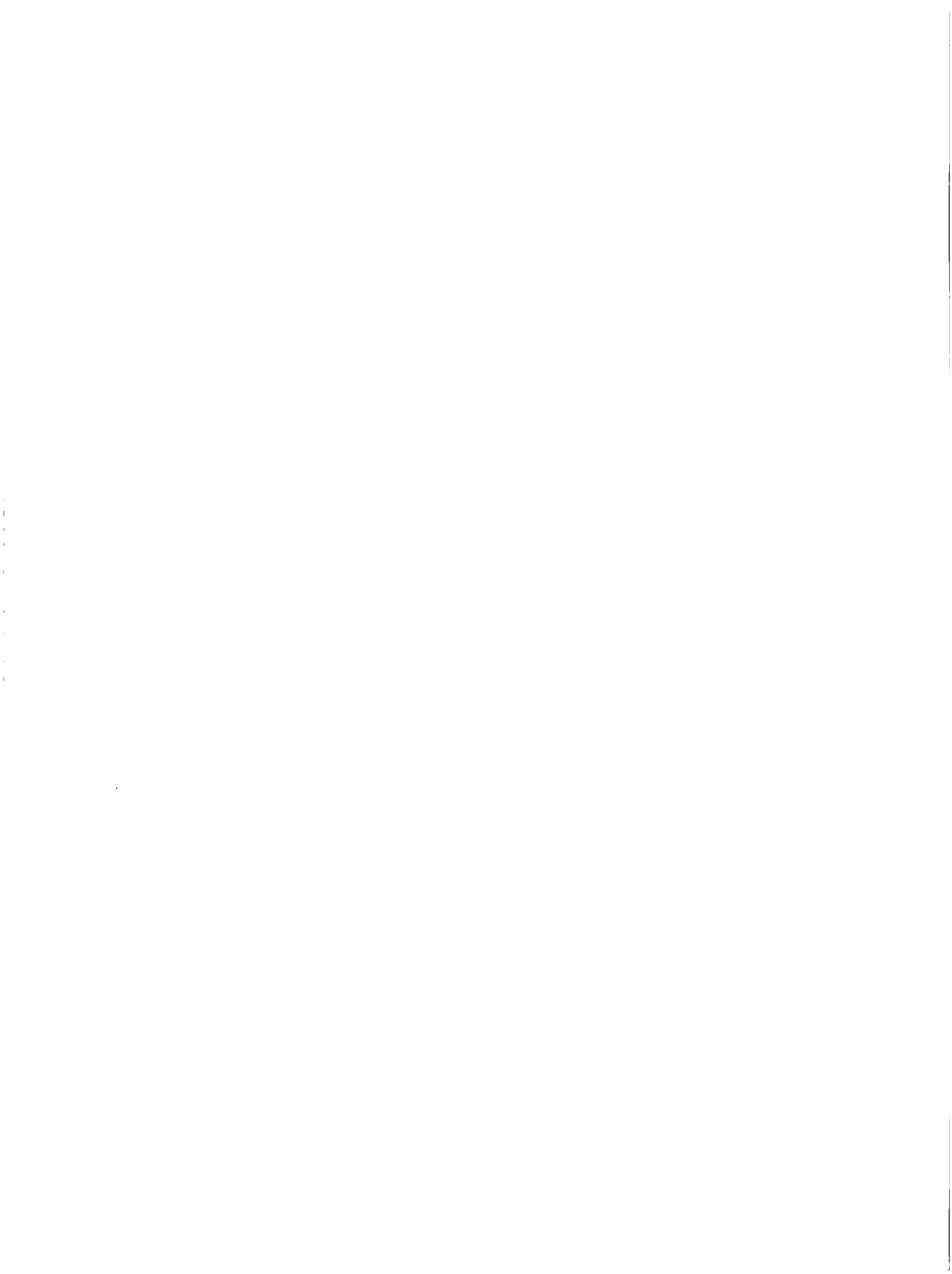
VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; BERNARD, R. & HATFIELD, J.L. 1982. Spatial Variability of Surface Temperature along two transects of a bare soil. *Water Resources Research, Washington*, 18:1677-1686.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. 1981. Spatial variability of field measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45:1040-1048.

-----; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia, Berkeley*, 51:1-75.

-----; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F. e LOMBARDI NETO, F. 1987. Utilização da análise de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva, na crotalária. *R. Bras. Ci. Solo, Campinas*, 11:7-10.

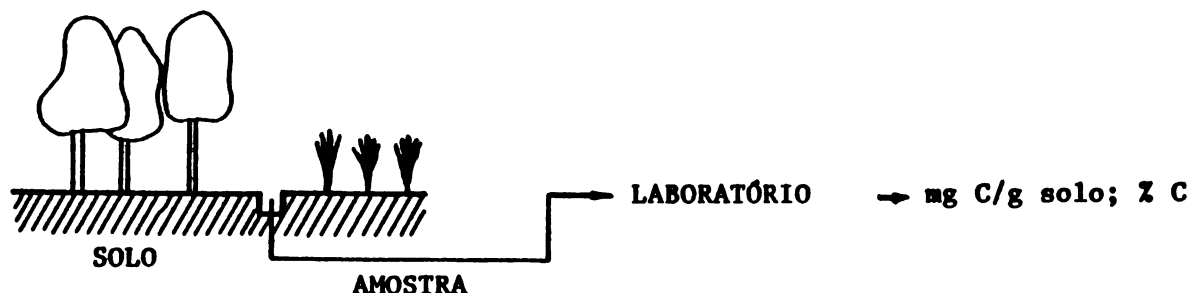
-----; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & TILLOTSON, P.M. 1990. The Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (submetido).



Carbono orgânico do solo¹

por Carlos Clemente Cerri²

CONSIDERAÇÕES GERAIS



- Constituintes do carbono do solo:

- Restos vegetais
- Biomassa microbiana
- Húmus
- Substâncias não húmicas
- Rizodepósitos

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

- Amostragem 0-20 cm Repetições

Ecosistema natural

Em camadas, de acordo com a morfologia do solo.

Agrossistema

Camada 0-20 cm ou 0-10 e 10-20 cm quando heterogêneo.

- Preparação da amostra para análise

Secar e moer < 0,15 mm

- Análise do carbono orgânico

Métodos

Walkley-Black ou similar: oxidação com bicromato de potássio.

Combustão: via seca.

- Cálculo do conteúdo (estoque) de carbono orgânico do solo

$\% C \times d = \text{kg C/ha}$

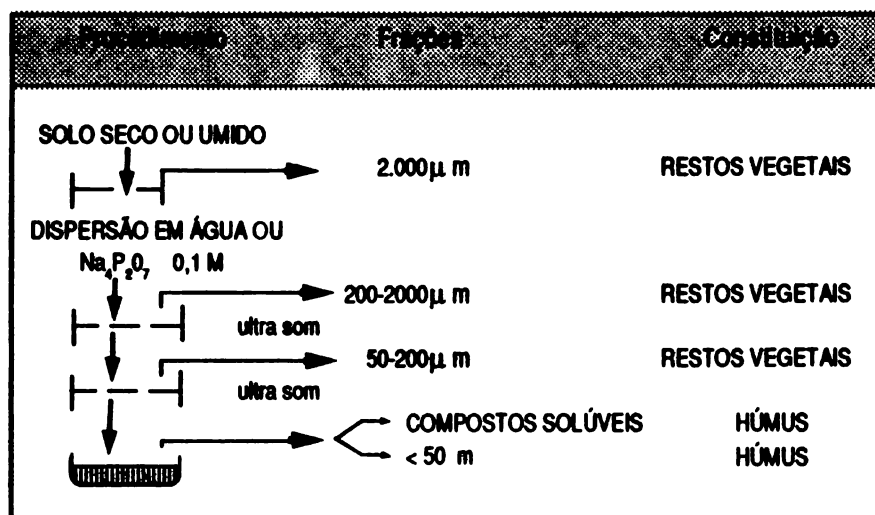
d = densidade.

¹ Material audio-visual utilizado na apresentação do trabalho.

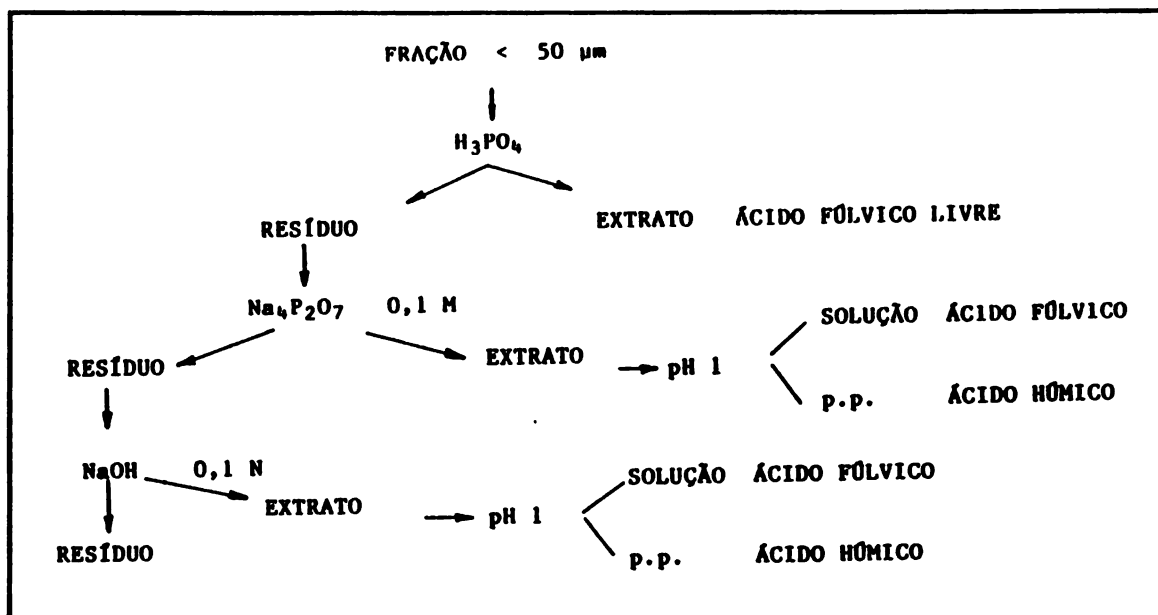
² Pesquisador C.E.N.A./USP.

QUANTIFICAÇÃO DOS CONSTITUINTES ORGÂNICOS

- Separação física das frações leve e pesada

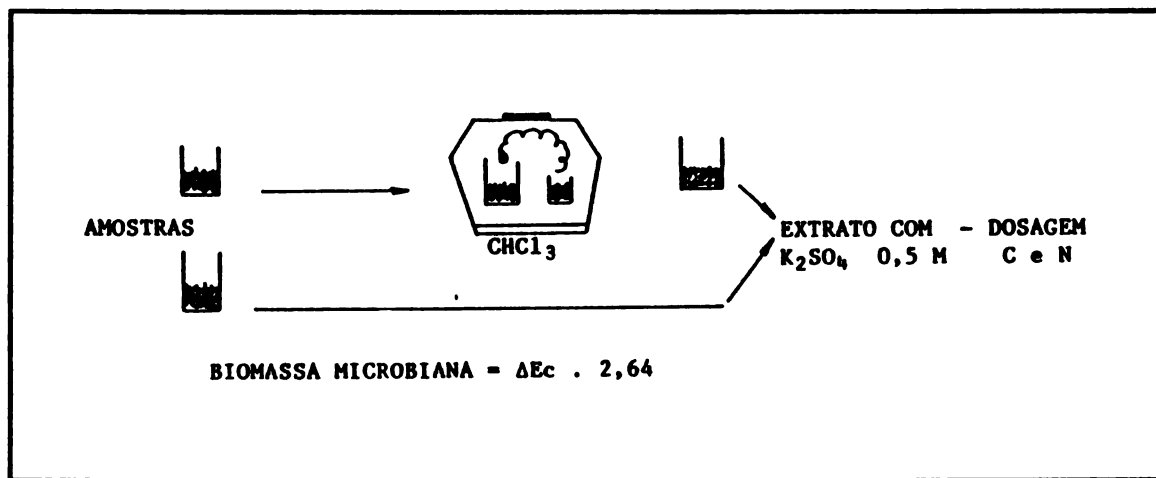


- Fraçãoamento químico do húmus



HUMINA { MICROBIANA - Corpos microbianos e compostos alifáticos.
 HERDADA - Próximo da matéria fresca.
 INSOLUBILIZAÇÃO (Neo formada) - Insolubilizada por Ca, não extraível por NaO.
 ESTABILIZADA - Evolução lenta dos ácidos húmicos.

- **Biomassa microbiana do solo**



- **Análises complementares**

Nitrogênio → relação C/N do solo e das frações

DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA (C) DO SOLO

- **Entradas principais pela superfície**

Ecosistemas naturais:

Serapilheira ("Liteira")

- Coletores circulares
- Períodos de coleta e processamento
- Incorporações

Agrossistemas:

Serapilheira de pastagens

- Restos culturais
- Outras entradas
 - cobertura morta
 - esterco
 - compostos orgânicos.

- **Entradas endógenas**

Raízes: análises de comprimento, biomassa, produção e mortalidade.

Rizodepósitos: uso de C¹⁴.

- **Principais saídas**

Percolação de compostos orgânicos pela solução do solo.

- Utilização de sistemas lisimétricos, cápsulas porosas, etc...

- Análise do C em solução.

Perdas por erosão

Evolução de gases do solo

- Câmaras de coleta + cromatografia gasosa ou IRGA

- Câmaras de coleta + NaOH.

UTILIZAÇÃO DE MATERIAL VEGETAL MARCADO COM ISÓTOPOS

- **Obtenção de plantas marcadas com C¹⁴ e N¹⁵.**

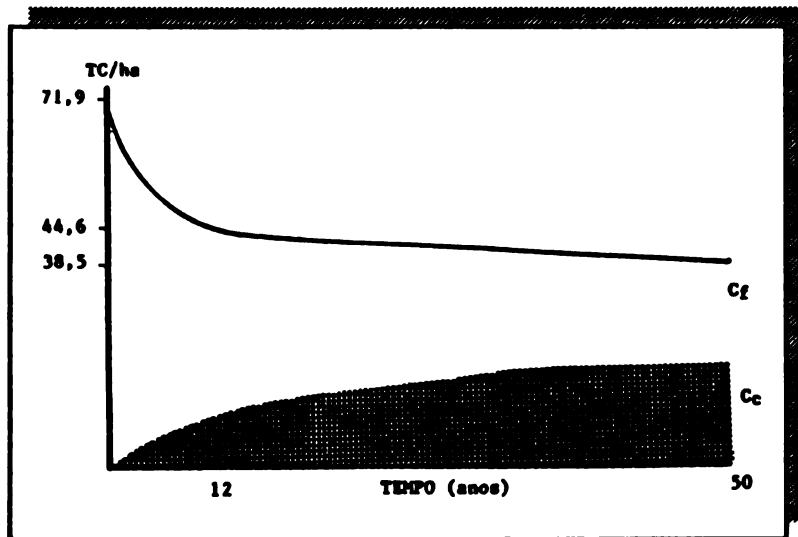
- **Experimentos de incorporação**

Em laboratório: incubadores

Em campo: lisímetros

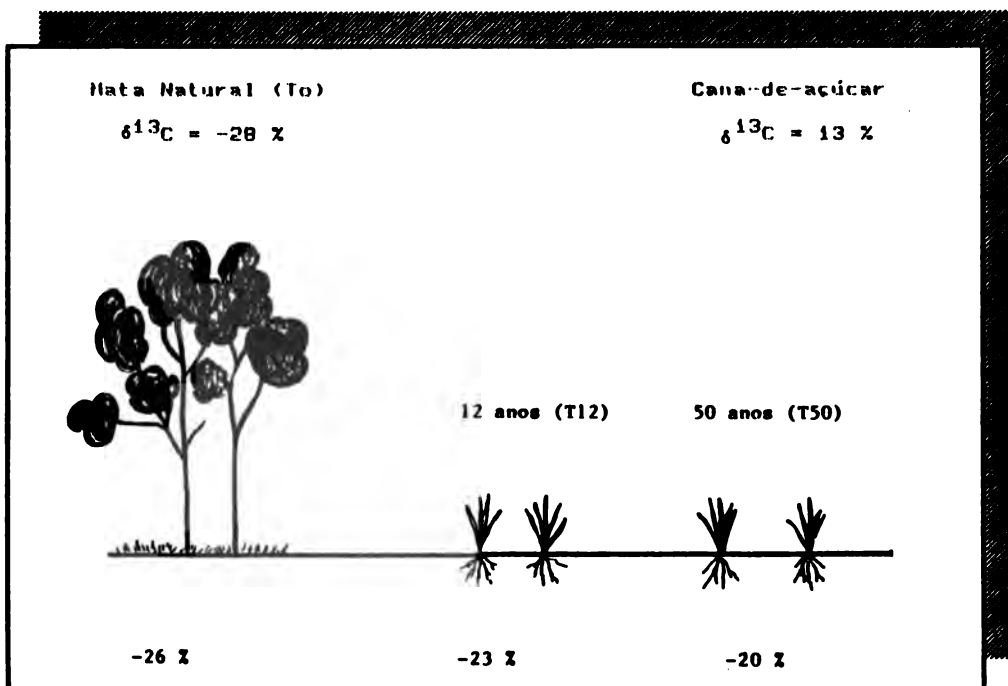
DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA: USO DO C¹³.

MODELAGEM MATEMÁTICA



0	71,9	0	71,9
12	44,6	8,6	36,0
50	38,5	17,3	21,0

DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO AGROSSISTEMA CANA-DE-AÇÚCAR



Estudo de raízes

por Afranio Almir Righes¹

INTRODUÇÃO

Por muitas gerações o cultivo do solo foi uma condição "sine qua non" para a produção agrícola. Este fato não foi questionado até o segundo quarto deste século. O cultivo era o único método para o controle de inços e o sistema estava adequado para as condições de solo e clima da Europa, Estados Unidos e outros países situados em regiões de clima frio.

Os modernos métodos de cultivo foram desenvolvidos antes que o conhecimento dos fisiologistas pudesse contribuir para a sua adaptação ou melhoria. Por outro lado, o desenvolvimento da química e fertilidade do solo juntamente com a nutrição mineral de plantas tornou-se de grande interesse da pesquisa acadêmica, culminando com o grande desenvolvimento e uso de fertilizantes. Os problemas de solo foram delegados aos cientistas de solos. Problemas biológicos foram delegados a fitopatologistas e entomologistas. A consequência desta dicotomia tornou-se muito evidente quando da introdução da agricultura européia em outras partes do mundo, principalmente em regiões tropicais, causando sérios problemas de degradação de solos, com erosão e perdas de água.

Muitos anos se passaram para entender-se as condições físicas de solo necessárias para proporcionar um adequado crescimento e desenvolvimento radicular e como o solo pode ser mantido de forma mais econômica.

A diversidade de sistemas de cultivos introduzidos na última década deve-se em parte ao desenvolvimento e disponibilidade de novos herbicidas que muito contribuíram para a viabilização dos sistemas de cultivo reduzido, cultivo mínimo e a semeadura direta. Os incentivos para adotar as novas tecnologias de cultivo variam de região para região. Alguns utilizam para conservar o solo e a água, outros para reduzir os custos e o trabalho. Muitos problemas podem surgir com o uso das novas tecnologias de cultivo do solo. Para o desenvolvimento científico dos diferentes sistemas de cultivo nas regiões tropicais, torna-se necessário um entendimento integrado de como se relacionam as condições de solo causadas pelo uso de diferentes sistemas de cultivo com o comportamento da planta, especialmente com o sistema radicular.

No sistema de cultivo tradicional a maior parte das raízes concentra-se em solo bem cultivado. A pesquisa procurou estudar as relações entre as propriedades volumétricas dos solos deformados com o crescimento e desenvolvimento das plantas. Com o uso dos novos sistemas de cultivo, os problemas tornaram-se muito mais complexos pelo fato do solo não ser mobilizado entre uma cultura e outra. Inúmeros processos físicos, químicos e biológicos atuam simultaneamente, como: modificação das propriedades do solo causada pelas raízes, pelos microorganismos e pela fauna do solo, podem causar grande influência na cultura subsequente. Desta forma, a pesquisa não mais poder ser isolada, mas sim, dever integrar diferentes áreas de conhecimento para interpretar tais efeitos.

O objetivo de nossa participação é de promover a discussão dos principais métodos para estimativa da distribuição do sistema radicular das plantas analisando alguns resultados de pesquisa.

¹ Professor da UFSM. Cidade Universitária, Santa Maria-RS.

MÉTODOS PARA ESTUDAR A DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES

Todos os métodos de avaliação de raízes conduzidos em condições de campo demandam muito trabalho. Alguns, demandam mais trabalho, outros, consomem menos tempo, entretanto, nem todos os métodos fornecem informações semelhantes. Logo, a seleção do método a ser usado é de fundamental importância para atingir-se os objetivos propostos sob diferentes condições de solo e de cultivo.

Os resultados podem ser qualitativos ou quantitativos. A obtenção de dados qualitativos, em geral, demandam menos tempo e trabalho do que os quantitativos. A forma de analisar e expressar os resultados quantitativos pode ser através da massa de raízes (g/planta), comprimento (cm/planta ou cm/volume de solo) e densidade de raízes (comprimento de raízes/volume de solo).

A seguir serão discutidos resumidamente os principais métodos que podem ser utilizados para determinar, avaliar ou estimar o desenvolvimento radicular das plantas. De acordo com Bohm citado por Kopke (1981), os principais procedimentos usados em condições de campo podem ser classificados em:

- * Método de escavação
- * Método do monolito
- * Método do perfil
- * Método da parede de vidro
 - Rizotrons
 - Tubo de vidro
- * Método do trado ou cilindro
- * Métodos indiretos
- **Método de escavação**

Esta técnica é conhecida desde o século XVIII, mas foi usada cientificamente por Weaver (1926). O método consiste em expor parte ou todo o sistema radicular no perfil de solo através do uso de agulhas, escovas, ar

comprimido ou água sob pressão. Uma vez exposto o sistema radicular, o pesquisador faz uma descrição da morfologia, extensão e ramificação das raízes, desenhando-as em papel. A principal limitação do método é a grande demanda de trabalho e de tempo.

- Método do monolito

Permite realizar uma determinação quantitativa do sistema radicular. Este método é considerado como método padrão e tem sido usado para calibrar os demais métodos.

Amostras de solo não deformadas de diferentes tamanhos são extraídas do perfil do solo. O monolito é saturado por um espaço de tempo de aproximadamente 24 horas e após o bloco de solo é desagregado pela ação de um jato fino de água, deixando somente as raízes. As raízes soltas são coletadas em peneiras. Os detritos e outros materiais são separados das raízes, e a seguir a massa ou comprimento das raízes é determinado.

A obtenção dos monólitos pode ser realizada de uma forma mais simples usando uma pá. Mais recentemente, Nelson & Allmaras (1969); Righes (1980) usaram a técnica de "framed monoliths" com as dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento e 0,30m de espessura. Para a extração destes monólitos é necessário cortar o solo até 2,0 m de profundidade, com auxílio de uma máquina utilizada para drenagem. Após a colocação dos "frames" espaçados 0,30 m um do outro e ligados entre si por barras de ferro, presas a um suporte para tração, o monolito inteiro e com solo não deformado é extraído do perfil.

Trabalhando-se com três pessoas são gastos aproximadamente quatro horas de trabalho por monolito, contando com o apoio das máquinas (Righes 1980). Observou-se também que uma área de 80 a 100 m² da parcela experimental é destruída em cada extração.

Outras formas de extração de monólitos podem ser usadas sem o uso de máquinas. Porém, a amostragem é realizada em menores profundidades. Neste caso, usando-se a técnica empregada pelos pedólogos na coleta de perfis de solo.

- Método do perfil

Foi testado em árvores frutíferas. O método consiste em expor as raízes em uma parede vertical de uma trincheira pela ação mecânica de ferramentas, água ou ar comprimido. As raízes são fixadas na sua posição original, são contadas e seu comprimento é estimado. Este método permite o estudo simultâneo de raízes e das condições do perfil do solo.

- Método da parede de vidro

Com este método, pode-se estudar em um curto intervalo de tempo, a taxa de crescimento radicular das raízes situadas verticalmente ou inclinadas atrás de uma parede de vidro. Neste grupo situam-se os rizotrons e o tubo de vidro (mini-rizotron), em ambos os casos, não é possível quantificar o sistema radicular de uma cultura, são métodos qualitativos.

Rizotrons

São estruturas subterrâneas dotadas de paredes rígidas e transparentes para permitir a observação do crescimento radicular. Os protótipos tiveram origem na Inglaterra por volta de 1961. Muitos pesquisadores implementaram os rizotrons desde seu lançamento. Taylor (1969) construiu o rizotron de Alabama a um custo de \$ 40.000 dólares e o rizotron de Ames construído em 1973 custou \$20.000 dólares. A grande vantagem do uso destas estruturas é que a avaliação do sistema radicular é realizado sempre na mesma planta e com muita rapidez. Outra vantagem é a possibilidade de instalação de sensores horizontalmente no solo, evitando a penetração de água verticalmente pelo furo do trado.

Os rizotrons são muito úteis em programas de estudos de fisiologia e morfologia radicular. Não são indicados para pesquisas que tem como objetivo básico determinar o padrão de crescimento geral do sistema radicular.

Tubos de vidro

Semelhantemente aos rizotrons, pelo método dos tubos de vidro pode-se fazer uma análise qualitativa não sendo possível determinar a densidade de raízes.

O método consiste em instalar no solo tubos de vidro com 7 cm de diâmetro, com aproximadamente 70 cm de comprimento, marcados com um grade de 5 x 5 cm em preto para orientação nas leituras. Com um trado tipo caneca ou trado holandês abre-se os furos no solo. Colocam-se os tubos de vidro preenchendo o espaço livre entre o tubo e a parede do furo com o mesmo solo.

Segundo Taylor (1970), as raízes das plantas que alcançam o tubo, podem ser contadas através de um dispositivo de espelho em ângulo de 45° dotado de iluminação, fixado na extremidade de uma haste. Movendo o sistema é possível determinar o desenvolvimento radicular em diferentes profundidades em função do tempo.

Uma alternativa do método é a instalação dos tubos de forma inclinada na linha, isto permite detectar com maior facilidade a profundidade onde encontra-se o sistema radicular em função do tempo.

- Método do trado ou cilindro

Os trados e principalmente os cilindros, são freqüentemente usados para coletar amostras deformada e não deformada para a caracterização física do solo. A amostragem pode ser feita manualmente ou com equipamento mecânico. A coleta é realizada a partir da superfície do solo, não necessitando de abertura de trincheiras. As amostras são colocadas sobre peneiras e com o auxílio de um fino jato de água elimina-se todo o solo, deixando as raízes prontas para futuras determinações.

No método do cilindro as amostras de solo com as raízes são quebradas horizontalmente e as raízes são contadas no plano de clivagem. Este método é muito rápido, não é necessário a lavagem e separação das raízes do solo, fornecendo uma boa informação quantitativa da distribuição de raízes especialmente para plantas com raízes fibrosas, e quando a distribuição é relativamente uniforme em relação a profundidade do solo.

- Métodos indiretos

Os métodos indiretos são usados para dar uma rápida informação a respeito do crescimento do sistema

radicular, determinando parâmetros físicos, que se relacionam com o desenvolvimento radicular.

- a) Determinação da extração de água do solo: fundamentado no fato de que alta concentração de raízes está correlacionada com baixo conteúdo de água no solo.
- b) Técnica dos traçadores: caracterizando-se pela injeção de substâncias traçadoras diretamente na planta ou em distintas partes do solo.
- c) Medida da radioatividade: na planta ou em partes do solo estando relacionada com a atividade ou distribuição radicular.
- d) Tomografia computadorizada: esta é uma das técnicas mais recentes que já está sendo testada no Brasil. O método permite fazer inúmeros cortes invisíveis no solo, possibilitando o monitoramento do crescimento da mesma planta sem danificá-la. O método é muito promissor, estando na fase de

transformação dos equipamentos fixos de uso em laboratórios, para equipamentos portáteis que tenham condições de serem usados a campo.

RESULTADOS DE PESQUISA

A seguir serão apresentados alguns resultados de pesquisas onde foram comparados diferentes métodos de amostragem ou de expressão de resultados de avaliação de sistemas radiculares.

O Quadro 1 evidencia que em termos de concentração de raízes da maior fração do sistema radicular foi encontrada na camada de solo de 10 a 20 cm de profundidade. No Quadro 2 a maior concentração média de raízes para a cultura da soja e do sorgo ocorreu na camada de 15 a 30 cm de profundidade. No caso da cultura do milho a maior densidade de raízes ocorreu na camada de 0 a 15 cm de profundidade.

Quadro 1. Percentagem de raízes de aveia na camada de 10 a 20 cm de profundidade no solo submetido a dois tratamentos de cultivo, determinado por quatro métodos de amostragem de raízes (resultados em % total de raízes do perfil).

Método	DMS (%)	Dimensões	Tratamento (% do total)	Quantidade de raízes
Monolito (CV = 35%)	26	mg raiz/cm de solo	C	21
			N/C	22
Monolito (CV = 36%)	29	cm raiz/cm de solo	C	18
			N/C	26
Trado (CV = 58%)	10	nº de raízes	C	23
			N/C	27
Tubo de vidro (CV = 53%)	16	Número de interseções	C	21
			N/C	31
Perfil (CV = 20 %)	12	cm de raiz/cm de solo	C	16
			N/C	28

Fonte: Kopke (1981).

C = solo cultivado; N/C = Não cultivado; DMS = diferença mínima significativa como % da média.

Quadro 2. Distribuição da densidade de raízes de soja, sorgo e milho em solo franco siltoso (Ia silt loam) em função da profundidade em Castana (Western Iowa Research Center), usando o método de monolitos.

Profundidade do solo (cm)	Densidade de raízes (cm/cm ³ do solo)		
	Soja	Sorgo	Milho
0 - 15	0,40	1,28	0,96
15 - 30	0,59	0,56	0,70
30 - 60	0,30	0,49	0,37
60 - 90	0,28	0,21	0,25
90 - 120	0,25	0,11	0,29
120 - 150	0,30	0,05	0,06
150 - 180	0,18	0,01	0,02
180 - 210	-	-	-
210 - 240	-	-	-

Fonte: Righes (1980).

Quadro 3. Valores médios de comprimento radicular, massa de raízes e densidade de raízes em função da adubação e calagem em latossolo (Unidade de Mapeamento Santo Angelo) - UFSM 1989.

Tratamentos		Comprimento de raízes (cm)	Massa de raízes (g)	Densidade de raízes (cm/cm ³)
Núcleo	C/A	562,41 a ¹	0,16 a	1,95 a
	S/A	126,93 b	0,03 b	0,44 b
Fora do Núcleo	C/A	1.456,14 a	0,42 a	1,37 b
	S/A	488,82 b	0,12 b	0,44 b
Vaso	C/A	2.018,55 a	0,59 a	1,45 a
	S/A	615,75 b	0,15 b	0,44 b

Fonte: Petter & Righes (1990).

¹ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

C/A = com adubação e calagem S/A = sem adubação e calagem.

Kopke (1981) apresentou uma relação entre densidade de raízes de aveia determinada pelo método do perfil (parede) com o método do monolito.

$$Y = 2,06 X + 0,069 \quad (r = 0,88) \quad [1]$$

onde,

Y = densidade de raízes (cm de raiz/cm³ de solo) pelo método do monolito.

X = densidade de raízes (cm de raiz/cm³ de solo) pelo método do perfil.

Pela equação [1], o coeficiente de regressão é 2,06. Logo, o método do perfil apresentou resultados de densidade de raízes 50 % menores do que os valores obtidos pelo método do monolito. Segundo o mesmo autor, somente os métodos do monolito e do perfil permitem determinar diretamente a densidade de raízes. As diferenças entre métodos, podem ser atribuídas ao fato de que, no método do perfil ou parede do perfil ocorram mais perdas de raízes durante o processo de determinação do que no método do monolito.

No Quadro 3, estudou-se o comportamento das raízes da soja em diferentes condições de densidade do solo (núcleos compactados), com e sem adubação e calagem, pode-se verificar que a dimensão utilizada para expressar os resultados não evidenciou diferenças estatísticas na análise global. Entretanto, grandes diferenças podem ser constatadas quando são comparadas três formas de expressar os resultados de raízes em função da profundidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os métodos podem estimar o desenvolvimento radicular de uma cultura em relação ao tempo, profundidade e sistemas de manejo de solo. Entretanto, segundo Kopke (1981), todos os métodos permitem somente determinações aproximadas do valor absoluto da densidade de raízes.

Visando a integração dos pesquisadores de diferentes áreas, bem como a possibilidade de comparação de resultados obtidos por diferentes

métodos, todos os parâmetros de raízes devem ser convertidos a uma dimensão definida - "Densidade de raízes".

Deve-se dar preferência aos métodos que permitam a obtenção de dados de densidade de raízes diretamente. Neste caso, o método do perfil é mais indicado para investigações ecológicas, permitindo observar as raízes, bem como as características do solo.

O método que apresenta maior precisão é o método do monolito. Porém, é o que demanda mais trabalho.

Sugere-se iniciar trabalhos de correlação com diferentes métodos visando obter modelos e ajustes que permitam aumentar a precisão dos demais métodos, reduzindo o trabalho do pesquisador.

Com o advento de novas tecnologias na área de eletrônica, a tomografia computadorizada para estudo de sistemas radiculares ser uma ferramenta de fundamental importância para o melhor entendimento das relações do sistema máquina-solo-água-planta-atmosfera, dentro do processo de produção agrícola para as regiões tropicais.

LITERATURA CITADA

- KOPKE, U. 1981. Methods for studying root growth. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K. & MEHTA, Y.R. (eds.). The soil root system in relation to Brazilian Agriculture. IAPAR. Fundação Instituto Agronômico do Paraná. Londrina-PR. p.303-318.
- NELSON, W.W. & ALLMARAS, R.R. 1969. An improved monolith method for excavating and describing roots. Agron. J. 61:751-754.
- PETTER, R.L. & RIGHES, A.A. 1990. Influência da adubação e calagem no desenvolvimento radicular da soja. XIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Soc. Bras. Ciên. do Solo. Santa Maria. Junho 1990. (Anais).
- RIGHES, A.A. 1980. Water uptake and root distribution of soybeans, grain sorghum and corn. Ph.D. dissertation. Iowa State University, Ames, Iowa.
- TAYLOR, H.M. 1969. The rhizotron at Auburn, Alabama. A plant root observation laboratory. Auburn Univ. Exp. Stn. Circ. nº 171.
- ; HUCK, M.G.; KLEPPER, B. & LUND, Z.F. 1970. Measurement of soil-grown roots in rhizotron. Agron. J. 62:807-809.

Parâmetros químicos do solo

por José Renato Ben¹

Os sistemas conservacionistas de manejo de solo diferem do convencional, basicamente pela menor mobilização do solo. Isso acarreta diferenças significativas entre esses sistemas quanto a localização, a distribuição e o contato do fertilizante com o solo.

Fatores como, fixação de nutrientes, especialmente o fósforo, dependem do contato direto do mesmo com o solo; localização e distribuição do fertilizante têm influência, principalmente para aqueles nutrientes com pequena mobilidade no solo, sobre a sua eficiência para as plantas; a análise do solo tem seus valores possivelmente diferenciados, em função do tipo de manejo de solo utilizado.

Na ausência de resultados que permitam definir metodologia de amostragem do solo, para os sistemas plantio direto, cultivo mínimo, bem como, recalibração dos parâmetros analíticos para estes sistemas, tem sido usado a mesma metodologia de amostragem e critérios de recomendação de fertilização definidos para o sistema convencional de preparo.

Esses fatos geram a necessidade de realização de pesquisas com a finalidade de definir metodologia de amostragem de solo e recalibração dos parâmetros analíticos, para os sistemas conservacionistas de manejo do solo. Quanto aos parâmetros a analisar, estes são os mesmos definidos para o preparo

convencional, com os mesmos problemas de extração e determinação.

NITROGÊNIO

A avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo é realizada indiretamente através da determinação do conteúdo de matéria orgânica. Essa metodologia não leva em consideração a qualidade ou tipo de matéria orgânica. Pressupõe a mesma relação C/N para a matéria orgânica procedente de diferentes fontes ou sistemas de manejo. Assim, por essa metodologia há uma baixa precisão da estimativa desse nutriente no solo. Por outro lado, a determinação do nitrogênio total não é adequada, pois inclui também frações não disponíveis para as plantas. Também a determinação do nitrogênio sobre a forma de nitratos não é adequada, em função de sua instabilidade no solo, especialmente em regiões chuvosas. Em regiões de baixa precipitação pluviométrica essa determinação pode ser um procedimento adequado.

A avaliação do nitrogênio através da extração de plantas em vasos, pode estimar adequadamente a disponibilidade deste nutriente, entretanto, é pouco prático para determinações de rotina.

A escolha de um outro procedimento analítico pode ficar a cargo de cada região ou país, dando-se preferência para aquele que melhor se adequar a predição deste nutriente, em função das suas características de solo e de clima.

BALANÇO DE NUTRIENTES

Foi considerado importante e deve ser realizado em experimentos de longa duração.

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da CNPT/EMBRAPA. Passo Fundo-RS.

FÓSFORO

Esse elemento, para fins de avaliação de sua disponibilidade no solo, é medido somente sua fração inorgânica. Foi levantada a necessidade de se avaliar também o fósforo orgânico, o qual é muito importante em solos de regiões tropicais ou subtropicais. Em experimento realizado no Uruguai, foi estimado que 70% deste elemento no solo encontra-se sob a forma orgânica. Foi sugerido como importante, avaliar a contribuição da biomassa (microorganismos) no suprimento de fósforo e nitrogênio.

Também foi sugerido estudar o fósforo no perfil da camada arável (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm de profundidade), avaliar sua eficiência para plantas nas

diferentes camadas e estudar a fixação de fósforo em diferentes sistemas de manejo de solo.

POTÁSSIO

Não foi discutido, por falta de tempo, as necessidades de pesquisa, visando estudar esse elemento no perfil da camada arável e sua eficiência em diferentes extratos desta camada.

ACIDEZ DO SOLO

Não foram discutidas, por falta de tempo, metodologias de aplicação de calcário em sistemas conservacionistas de preparo de solo.

Metodologia de pesquisa em manejo do solo: estrutura e porosidade do solo

por Pedro Luiz de Freitas¹ e Philippe Blancaneaux²

INTRODUÇÃO

A avaliação da estrutura de um solo, definida como a forma que partículas minerais e orgânicas e espaços vazios estão arranjados em um perfil, em relação a sua potencialidade para o crescimento de raízes e para a atividade biológica, é discutida considerando a dinâmica de formação das unidades estruturais e a relação com outros parâmetros do solo. Vários métodos são apresentados, incluindo a caracterização morfológica a campo, o estudo micromorfológico em laboratório, a determinação da estabilidade, distribuição de tamanho, e densidade de agregados e da dispersão da argila em água.

A porosidade, ou a fração do solo ocupada por água e ar, é também discutida como um complemento à caracterização estrutural do solo, considerando duas classes distintas: os microporos (0,2 a 30 microns) e os macroporos (50 a 300 microns). Métodos para a determinação da distribuição de tamanho de poros são apresentados, com base na curva de retenção de água, na intrusão de mercúrio e no estudo morfológico do solo.

ESTRUTURA DO SOLO

- Definição

A estrutura de um solo é definida como a forma que partículas minerais e orgânicas e espaços vazios

estão arranjados em um perfil, em relação a sua potencialidade para o crescimento de raízes e para a atividade biológica (Freitas, 1988). A estrutura complementa a noção de textura e é essencialmente ligada ao estado dos colóides do solo, os quais podem ser dispersados ou floculados em agregados elementares.

- Fatores de formação das unidades estruturais

A formação e destruição da estrutura é um processo dinâmico e sua manutenção é, sem dúvida, um dos maiores objetivos do manejo do solo. Entre os fatores envolvidos neste processo temos a presença de sistemas radiculares, os quais podem ter um efeito desagregante, pela penetração e crescimento secundário das raízes, no caso de dicotiledôneas, ou agregante, pelo envolvimento e compressão de partículas minerais e pequenos agregados, no caso de monocotiledôneas. Raízes podem também atuar na estabilização ou colapso de agregados, causando sua desidratação e contração diferencial pela absorção de água.

A atividade biológica tem um papel reievante na agregação, quer seja através dos microorganismos que agem envolvendo partículas ou produzindo agentes cimentantes, em especial os polissacarídeos, ou pela mesofauna do solo. Não existe dúvida, por exemplo, do efeito benéfico de minhocas que agem disseminando microorganismos, perfurando canais e, em alguns casos, formando agregados estáveis.

Dentre os fatores físicos que afetam a estrutura temos a variação da umidade. Quando um solo seca, a desidratação dos agentes cimentantes e a consolidação da argila podem promover uma

¹ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da SNLCS/ EMBRAPA.

² Pedólogo (Doutor), Pesquisador da ORSTOM, França, Consultor da SNLCS/EMBRAPA.

densificação maior que a causada por qualquer agente externo em condições naturais. O umedecimento, por outro lado, pode causar o aumento da pressão de ar dentro do agregado e sua implosão. Tais efeitos dependem do tipo de solo, de seu estado de agregação, da umidade quando seco, da intensidade do processo de molhamento e da temperatura (Harris et al., 1966).

A formação genética das unidades estruturais do solo tem seu efeito favorecido por um duplo processo: a floculação dos colóides e a cimentação das partículas pelos colóides floculados. Um bom agente cimentante deve encontrar-se sob uma forma floculada, sendo que esse estado deve ser tanto mais estável quanto possível. Uma classificação, baseada essencialmente na cimentação e na eficácia relativa dos diferentes complexos coloidais do solo, foi apresentada por Duchaufour (1965), como segue:

a) Argilas (sozinha ou ligada aos óxidos de ferro): é a origem das estruturas ditas por fragmentação resultantes dos processos de retração no período seco. Essas estruturas são menos estáveis que aquelas ligadas a presença simultânea de cimentos húmidos e podem ser destruídas pelo umedecimento rápido.

b) Cimentos húmicos: agem em conjunto com a argila formando complexos argilo-húmicos, cuja estabilidade é função da polimerização dos ácidos húmicos. Esses complexos constituem um agente cimentante muito estável presente nos agregados elementares de tamanho inferior a 1 mm. Se a atividade biológica for intensa, o cimento argilo-húmico reúne estes agregados em unidades maiores (grumos), que podem vir a formar estruturas muito aeradas (estrutura esponjosa). Apesar de menos estáveis, essas estruturas são constantemente reedificadas na medida que a atividade biológica se mantém elevada.

c) Óxidos de ferro e alumínio: o papel destes elementos depende da forma, como segue:

- Forma coloidal, ligada a complexos argilo-húmicos: os íons de alumínio e ferro neutralizam as cargas negativas dos colóides (argila e húmus) e favorecem sua floculação. Quando a

concentração dos íons é alta nos complexos argilo-húmicos, formam-se agregados estáveis, mesmo em meio muito ácido e pobre em bases (Emerson et al., 1959). Os solos ácidos portanto tem uma estrutura variável segundo a abundância e a forma do ferro e do alumínio.

- Forma coloidal livre ou complexada pelos ácidos húmicos: essa forma condiciona uma estrutura laminar, cimentando grãos de areia dos horizontes B spódicos, por exemplo, originando uma estrutura concrecionada pouco endurecida.
 - Forma cristalina ou endurecida: quando os elementos precedentes são fortemente individualizados e no estado cristalino, constituem um cimento endurecido que forma um revestimento em torno dos grãos. Neste caso, os agregados formados são pouco porosos e muito duros; são concreções que podem existir no estado isolado ou em forma de massa endurecida.
- d) Carbonato de cálcio: o calcário fino, precipitado pela insolubilização do bicarbonato de cálcio pode ter um papel importante na formação dos agregados, formando com o húmus películas em torno dos grãos maiores (grumos das rendzimas). Estes agregados podem evoluir até uma forma endurecida por cristalização (calcita, apatita, etc.) que constitui as concreções ou crostas.

Chega-se assim a uma classificação genética, que apresenta aspectos, propriedades e estabilidade muito diferentes segundo os casos, os quais podem evoluir no tempo e no espaço. Pode-se distinguir três tipos fundamentais:

- a) Estruturas construídas: resultantes da atividade biológica que intervem diretamente pela ação mecânica e indiretamente pelo fornecimento de cimentos húmicos. Os grumos resultantes são de forma irregular, porosos, aerados e geralmente estáveis.
- b) Estruturas fragmentares: formadas a partir da fissuração de uma massa argilo-siltosa pouco humificada por um fenômeno de retração. Os

elementos resultantes tem uma forma angular e são instáveis.

- c) Estruturas concrecionadas: provenientes da precipitação de origem físico-química de hidróxidos fortemente cristalizados em torno de grãos grosseiros, energicamente soldados. As concreções geralmente são duras e debilmente porosas, em oposição aos grumos mais friáveis e porosos.

RELAÇÃO COM OUTROS PARÂMETROS

A importância da estrutura é considerável, uma vez que influencia diretamente várias propriedades do solo. Baseando o estudo da estrutura na definição de uma ótima condição estrutural, encontrada em um solo recém-arado, após ter sido mantido por um longo período sob densa vegetação de gramíneas,

encontramos condições como boa aeração e drenagem, facilidade de cultivo (friabilidade), resistência à erosão, muito baixa dispersão da argila e, principalmente, um ótimo ambiente para crescimento e funcionamento de raízes (Low, 1972).

Mesmo um solo altamente produtivo, cultivado por muitos anos, pode se tornar infértil pela degradação de suas propriedades físicas, resultando em uma condição estrutural onde os agregados são escassos, frágeis e mal distribuídos. Esta condição impede o movimento e a retenção de água, a aeração, a absorção de água e nutrientes pelas plantas e toda atividade biológica. Nestas condições, mesmo a mais pesada adubação não poder recuperar a produtividade inicial do solo. Um esquema das interrelações funcionais envolvendo os efeitos das práticas de manejo na estrutura do solo, e conseqüentemente na produtividade, é apresentado na Figura 1.

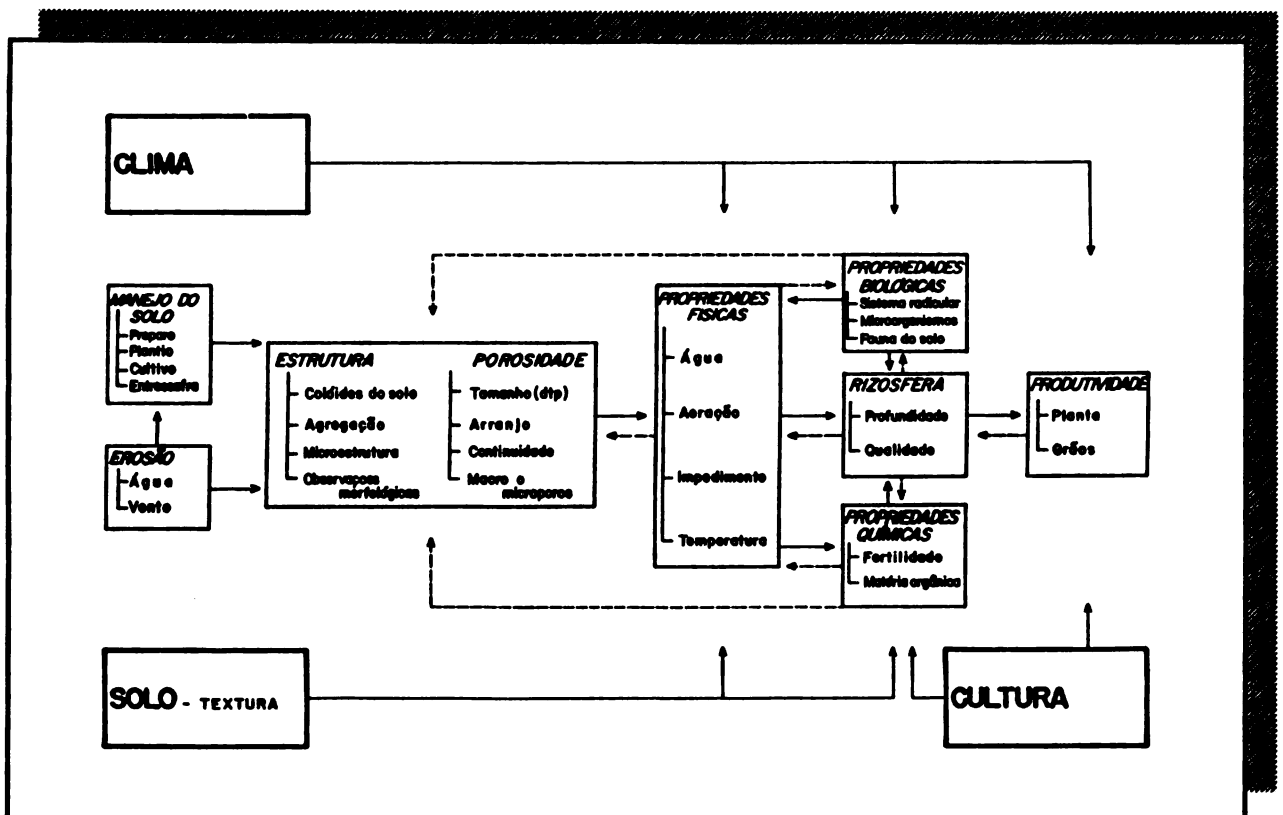


Figura 1. Esquema das interrelações funcionais envolvendo os efeitos das práticas de manejo na estrutura do solo.

A relação entre a estrutura do solo e outros parâmetros pode ser apresentada pela análise dos processos pedogenéticos, como por exemplo:

- Solos com estrutura estável em grumos apresentam baixa eluviação e elevada permeabilidade.
- Solos com estrutura dispersa, pobres em colóides, apresentam uma permeabilidade média e suscetibilidade à eluviação.
- Solos com estrutura dispersa, ricos em colóides, apresentam baixa permeabilidade e baixa eluviação, consequência da expansão dos colóides na presença de água.

METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO

Várias metodologias têm sido desenvolvidas para definir a estrutura do solo. No entanto, é impossível obter uma descrição completa ou um valor absoluto com um só método. Por este motivo, muitos técnicos reconhecem a estrutura do solo através das propriedades correlatas, como densidade, porosidade, permeabilidade, entre outras (Russel, 1949).

Dos vários métodos utilizados para o estudo da condição estrutural, são descritos: a caracterização morfológica a campo, o estudo micromorfológico em laboratório, a determinação da estabilidade, distribuição de tamanho e, densidade de agregados e da dispersão da argila em água. Outros métodos, considerados indiretos, de estudo da condição estrutural podem ser utilizados, tais como: porosidade, densidade do solo, aeração, infiltração, condutividade hidráulica, retenção de água, penetrabilidade, etc. (Low, 1954).

A classificação morfológica da estrutura é feita a campo, a partir da caracterização das unidades estruturais do solo. Essas unidades, ou agregados, são definidas como unidades naturalmente formadas sob o efeito de fatores como o material originário, forças de contração/expansão, animais e raízes, além de processos químicos e físicos de cimentação (Buol et al., 1980).

Os agregados são distintos de outras unidades encontradas no solo, que são (Ranzani, 1969):

- *Torrões* ("clods"): unidades transitórias, formadas por distúrbios como a aração;
- *Fragmentos*: unidades acomodadas por planos temporários, que não persistem após ciclos de umedecimento/secamento.
- *Concreções e nódulos*: unidades fortemente cimentadas por substâncias químicas concentradas.

Segue-se a esta distinção a condição de solos sem estrutura, descrita como grãos simples, quando as partículas de solo não são ligadas entre si, ou maciça, quando as partículas são arranjadas em uma massa coesa.

Em solos agregados a estrutura é classificada morfológicamente segundo a forma, tamanho, arranjo e grau de desenvolvimento dos agregados.

Para descrever a estrutura do solo no campo se propõem a uma avaliação qualitativa, iniciando pela observação da natureza geral da macroestrutura. Para tal, se deve agir no campo durante a observação e a descrição do perfil de modo que a ação de observar a estrutura não venha a promover a sua destruição. Para isso, deve-se procurar calmamente selecionar, separar e distinguir, com os dedos, os agregados.

Uma vez distinta a natureza, observa-se a nitidez da estrutura. Distingue-se assim uma estrutura pouco nítida, nítida ou muito nítida. A seguir observa-se o grau de generalização da estrutura, que pode ser localizada ou generalizada.

Os tipos de estrutura fragmentar são definidos pela forma. A distinção entre os tipos de agregados deve começar pela descrição dos agregados mais aparentes, como segue:

- Forma das faces (planas, curvas ou planas e curvas).
- Forma das arestas (angulares ou subangulares).

- Orientação preferencial de dissociação (orientação segundo um plano horizontal, vertical, ausência de orientação preferencial ou sem dimensões privilegiadas).

Isto permite distinguir os seguintes tipos de estrutura fragmentar:

- *Pequenas placas oblíquas*: as faces são geralmente planas, quase sempre lisas e freqüentemente estriadas; as arestas são agudas; a orientação preferencial é oblíqua (estrutura característica dos horizontes profundos dos vertissolos).
- *Laminar*: as partículas estão arranjadas em torno de um plano horizontal. As unidades estruturais têm aspecto de lâminas de espessura variável, faces planas, e orientação preferencial segundo um plano horizontal.
- *Prismática*: agregados com faces planas, arestas angulares e com orientação preferencial segundo um plano vertical.
- *Colunar*: estrutura prismática com extremidades superiores arredondadas.

- *Em blocos angulares (poliédrica)*: as três dimensões da unidade estrutural são aproximadamente iguais. Agregados apresentam faces numerosas e planas, arestas angulares e sem uma orientação preferencial.
- *Em blocos subangulares*: estrutura em blocos com arestas subangulares.
- *Granular*: apresenta partículas arranjadas em torno de um ponto, como na estrutura em blocos (poliédrica). As faces são curvas, sem arestas, nem orientação preferencial, e são pouco porosos.
- *Em grumos*: os agregados apresentam um conjunto complexo de faces curvas predominantes e de faces planas com superfície irregular, sem orientação preferencial e muito porosos.

Em seguida é determinada a classe de estrutura em função do tamanho das unidades estruturais. O tamanho do agregado é definido pela largura ou espessura, para os tipos alongados ou aplainados, e por uma dimensão média, para os outros tipos de estrutura. Os tipos e classes de estrutura são apresentados no Quadro 1 (Buol et al., 1980; Lemos & Santos, 1982).

Forma e arranjo das unidades estruturais	UNIDADES ARTIFICIAIS		UNIDADES ESTRUTURAIS NATURAIS							
	unidades acomodadas por planos temporários, instáveis	unidades transitórias formadas por distúrbios instáveis	unidades esféricas e poliédricas, com faces curvas e muito angulares e superfícies irregulares, sem orientação preferencial	unidades poliédricas, onde as três dimensões são aproximadamente iguais. Faces numerosas e planas, acomodadas com as unidades vizinhas, sem orientação preferencial	unidades com aspecto de lâminas com faces planas e orientação horizontal	unidades com orientação preferencial segundo um plano vertical. Faces verticais bem definidas				
			muito porosos	pouco porosos	arestas angulares	arestas subangulares	faces planas pouco distintas	faces arredondadas bem distintas		
Tipo	FRAGMENTOS TORÇÕES		EN GRUMOS	GRANULAR	BLOCOS ANGULARES	BLOCOS SUBANGULARES	LAMINAR	PRISMÁTICA	COLUNAR	
Classe (tamanho em mm)	muito pequena < 0,5		muito pequena < 1		muito pequena < 5		muito pequena 0,5 - 4		muito pequena < 10	
	pequena 0,5 - 1	pequena 5 - 10	pequena 1 - 2		pequena 5 - 10		pequena 1 - 2		pequena 10 - 20	
	média 1 - 2	média 10 - 20	média 2 - 5		média 10 - 20		média 2 - 5		média 20 - 50	
	grande 2 - 5	grande 20 - 50	grande 5 - 40		grande 20 - 50		grande 5 - 10		grande 50 - 100	
		muito grande > 50	muito grande > 10		muito grande > 50		muito grande > 10		muito grande > 100	

Quadro 1. Tipos e classes de estrutura.

Por último, é determinado o grau de desenvolvimento, que define a resistência da estrutura, podendo ser fraca, moderada ou forte.

Os agregados definidos anteriormente e que correspondem ao nível mais aparente, podem se reunir em unidades maiores (super) ou subdividir-se em unidades menores (sub). O tipo e tamanho das

unidades estruturais da super e a sub-estrutura são os mesmos definidos acima. Um exemplo de descrição morfológica da estrutura em um perfil é apresentado no anexo 1.

O estudo micromorfológico do solo inicia-se no campo pela obtenção de amostras indeformadas, acondicionadas em caixetas de Kubiena (Figuras 2 a 4).

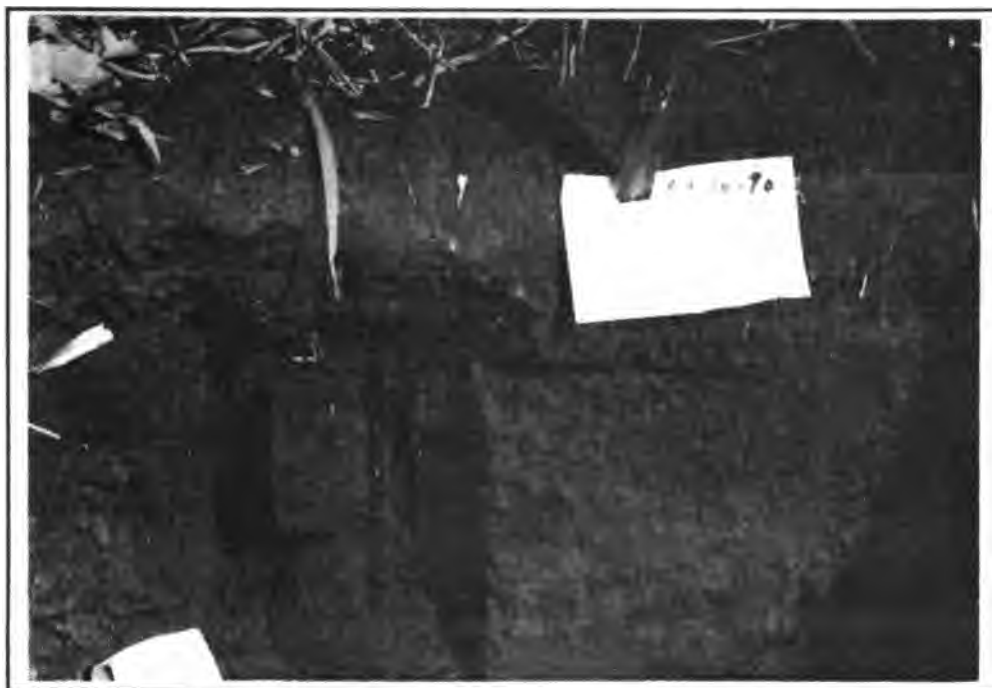


Figura 2.

Estudo micromorfológico do solo: a. separação de um bloco de solo com as dimensões da caixa de Kubiena.

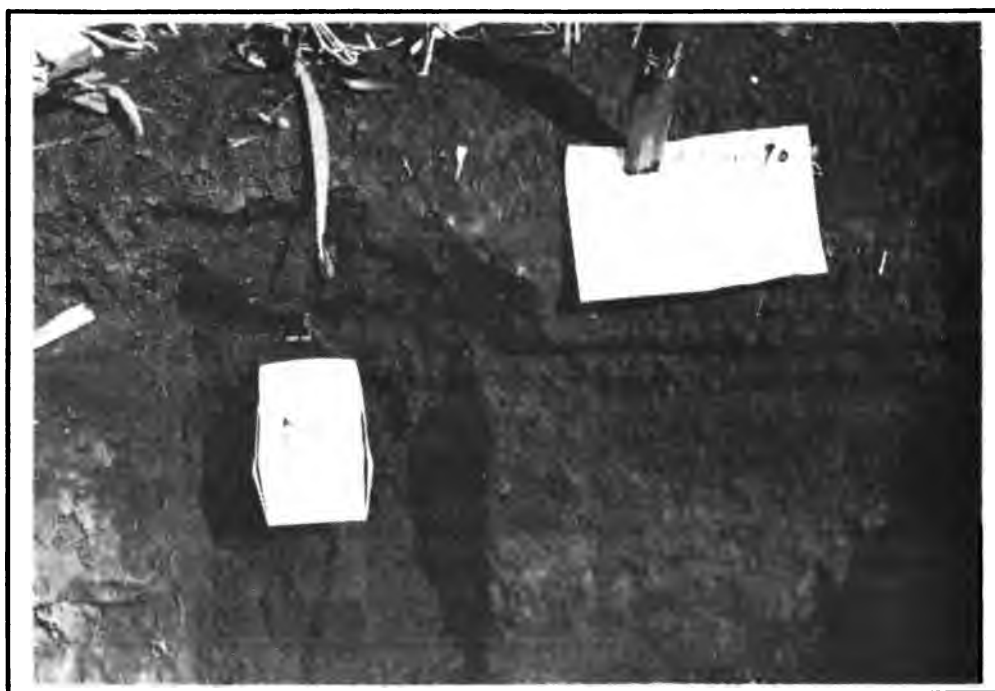


Figura 3.
Estudo micromorfológico do solo: b. colocação da parte interna da caixa já orientada.

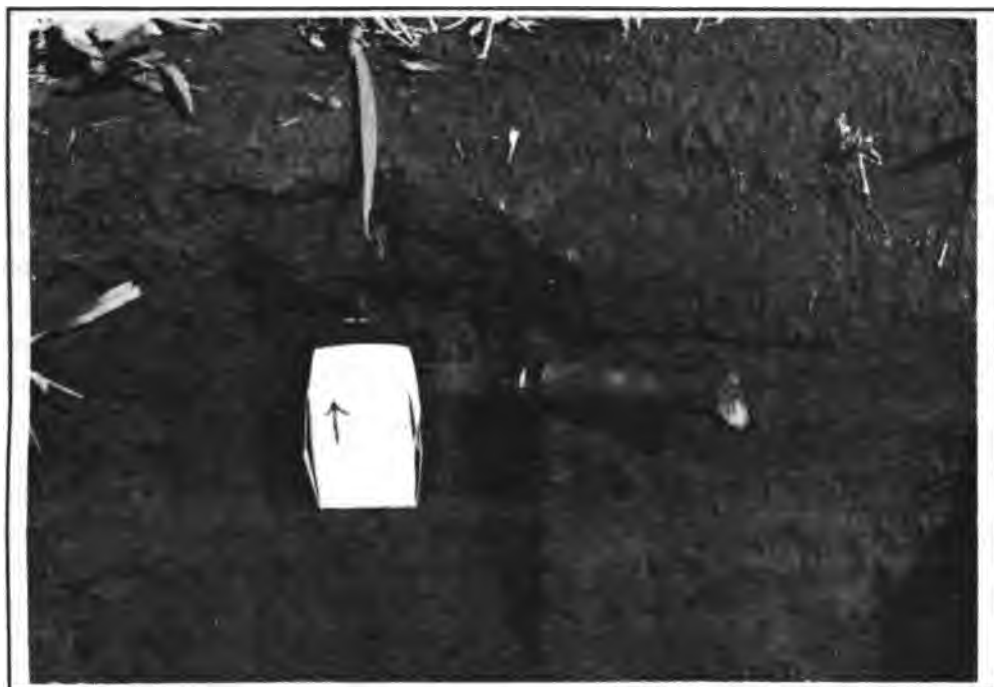


Figura 4.
Estudo micromorfológico do solo: c. retirada do bloco, com a caixeta ajustada, pela parte interna, que será trabalhada para colocação da parte superior da caixeta.

Em laboratório, estas amostras são secas ao ar, impregnadas a vácuo com resina, e deixadas em repouso para secagem e endurecimento. Após isto as amostras são cortadas e polidas à espessura de aproximadamente 0,3 microns e montadas em lâminas para observação em lupa ou microscópio. O corte do bloco de solo em várias posições permite uma análise tri-dimensional da micro-estrutura e dos vazios (FitzPatrick, 1984).

Os tipos de microestrutura são classificadas segundo a organização das massas de colóides em relação aos grãos. Kubiena (1953) distingue dois tipos fundamentais de microestrutura, designados pelo sufixo *erde* e *lehm*. O primeiro é caracterizado pelo estado floculado dos colóides, apresentando uma ligação íntima da argila e dos óxidos de ferro e alumínio (cor bruna escura e poros numerosos). O segundo corresponde ao estado fundido, onde os óxidos de ferro têm uma tendência a se individualizar em relação à argila, sua cor é ocre ou amarelo-vivo e nota-se a existência de zonas descoloridas, empobrecidas em ferro, geralmente localizadas ao longo das fissuras de retração (Blancaneux, 1985).

Outros tipos de microestrutura caracterizam os horizontes de acumulação e foram descritas

particularmente pelos autores americanos (Soil Survey Staff, 1975), como segue:

- **Microestrutura com revestimento em camadas (clay skin)**

Caracteriza os B texturais, onde o plasma fundido pode ser parcialmente móvel, sendo objeto de migração. O plasma se deposita sob a forma de depósitos sucessivos apresentando zonas escuras (humíferas) ou ferruginosas. As moléculas de argila são orientadas e podem ser observadas no microscópio polarisante; estes revestimentos recobrem a superfície de unidades estruturais, fendas de retração e galerias causadas pelos animais;

- **Microestrutura com revestimentos amorfos**

São as estruturas laminares características dos horizontes de acumulação de alguns podzols. Depósitos coloidais de húmus e de óxidos de ferro e de alumínio cimentam os grãos de areia e acumulam nos vazios. As lâminas orientadas de argila são pouco nítidas neste tipo de microestrutura. As concreções são caracterizadas por uma microestrutura laminar do mesmo tipo, onde os sesquióxidos tomam freqüentemente uma forma cristalina.

- Outras microestruturas com revestimentos

Existem microestruturas que não provêm de uma acumulação, mas que dependem de outras causas, como alternâncias de umedecimento e secamento provocando a movimentação e deposição das argilas nas unidades estruturais, seguida de um alisamento destas superfícies por fricção ("slickenside").

Os trabalhos mais recentes sobre microestrutura do solo (Bullock et al., 1985) reconhecem os principais tipos de microestrutura, apresentados no Anexo 2.

A estabilidade de agregados é relacionada com a qualidade estrutural do solo e tem uma relação estreita com a presença de fatores de estabilização, como matéria orgânica, colóides de argila e outros componentes do solo (Harris et al., 1966).

A determinação da estabilidade de agregados avalia a resistência dos agregados ao molhamento e às forças desintegradoras. Quanto menor a estabilidade dos agregados em água, maior ser a suscetibilidade do solo à deterioração estrutural, devido ao impacto de gotas de chuva, à ação dos ventos, à degradação pela ação de ferramentas de preparo e cultivo do solo, ou ao adensamento pela passagem de máquinas agrícolas.

A aplicação de forças desintegradoras, como impacto, abrasão, cizalimento e aquelas envolvidas no umedecimento, ocorre desde a obtenção da amostra a campo até a determinação propriamente dita (Kemper & Rosenau, 1986). Pelo papel significativo que tem na determinação da estabilidade de agregados, os diversos passos do método são discutidos.

As amostras devem ser coletadas na forma de torrões (Figura 5 a 6) dos horizontes pré-determinados, com umidades pouco abaixo da capacidade de campo. Em laboratório, as amostras são ligeiramente secas ao ar, para eliminar o excesso de umidade, e desagregadas a mão, sem compactar ou esborroar, até passarem em peneira de malha igual ou maior que 8 mm. A amostra é então seca ao ar por 24 horas ou mais e peneirada, visando a obtenção de sub-amostras de tamanho conhecido. O intervalo de tamanho da

sub-amostra a ser submetida ao teste de estabilidade depende do propósito e do método a ser utilizado.

Antes de submeter a sub-amostra ao teste, essa deve sofrer um pré-tratamento a fim de umedecer a amostra. Este pré-tratamento pode ser feito pela imersão da amostra em água, pelo umedecimento sob tensão (capilaridade), por atomização ou por vapor, e pela saturação à vácuo. O primeiro tem sido desaconselhado, já que o umedecimento rápido da amostra pode comprometer sua estabilidade devido ao rompimento dos agregados pela alta pressão interna do ar. O pré-tratamento com atomizador ou com vapor tem sido o mais recomendado por manter a estabilidade da amostra mais próxima daquela encontrada no campo. No caso de solos altamente estáveis, diferenças em estabilidade podem ser detectadas submetendo a amostra ao molhamento rápido por imersão (Kemper & Koch, 1966, citado por Kemper & Rosenau, 1986).

O método mais utilizado é a determinação da distribuição de agregados estáveis em água, inicialmente proposto em 1928 por A.F. Tiulin e modificado por R. E. Yoder em 1936 (Harris et al., 1966; Kemper, 1965 e EMBRAPA, 1979). O método consiste em peneirar uma amostra de solo em um jogo de peneiras de diferentes tamanhos, imersas e agitadas em água, submetendo a um movimento vertical com duração de dois segundos por um determinado período de tempo (de 15 a 30 minutos).

Alguns métodos sugerem o uso de um jogo de peneiras variando de 4 a 0,053 mm. As peneiras de 2 a 0,5 mm são as mais recomendadas. Após o secamento em estufa e pesagem, as frações retidas em cada peneira devem ser dispersadas e novamente peneiradas para determinação do peso de grãos simples, a ser descontado de cada fração.

Um método mais simples e rápido é proposto por Kemper & Koch em 1966 (descrito por Kemper & Rosenau, 1986) utilizando apenas uma peneira de malha de 0,26 mm de abertura, que é agitada em um curso de 1,3 cm com frequência de 35 movimentos/min, onde amostras de agregados no intervalo de 1 a 2 mm são testados. Este método facilita a análise dos dados obtidos.



Figura 5.
Coleta de amostra em torrões para determinação de estabilidade de agregados, juntamente com coleta de cilindros para densidade.



Figura 6.
Acomodação dos torrões em sacos plásticos ou caixas para transporte ao laboratório.

A forma de aplicar os testes sugeridos e interpretar os resultados é uma decisão do investigador, que deve considerar o fenômeno a ser simulado e o equipamento disponível.

A expressão dos resultados de estabilidade de agregados pode ser feita basicamente por dois índices, que facilita a análise estatística dos resultados (Kemper & Chepil, 1965). São eles:

- **Diâmetro Médio Ponderado (DMP):**

$$DMP = \sum WI \cdot XI$$

onde: WI é a fração da amostra retida em cada classe de peneiras (i) corrigidos para os grãos simples; e, XI é o tamanho médio de cada classe de peneiras.

- **Diâmetro Médio Geométrico (DMG)**

$$DMG = \text{Exp} \frac{\sum (WI \cdot \log (XI))}{\sum WI}$$

onde: WI é o peso seco do solo retido em cada classe de peneiras (i) corrigido para grãos simples; e, XI é o tamanho médio de cada classe de peneiras.

Outra forma de determinação e apresentação do estado de agregação do solo é pela expressão da proporção de agregados retidos em uma determinada peneira. O resultado é expresso em percentagem em peso, após desconto do peso de grãos simples.

Se o princípio destes métodos parece simples, na realidade os resultados obtidos necessitam ser analisados com cautela, por várias razões:

- Os resultados variam em função do estado do solo no momento da análise (época de amostragem, teor de umidade, etc.).
- Variam em função do método utilizado; do meio (concentração), do solvente (água destilada ou não), do tempo e da natureza da agitação, agente utilizado para umedecimento (água, benzeno, álcool, etc.).
- Variam igualmente segundo o experimentador e a maneira como é procedida a manipulação.

- Se faz necessário então definir, para esta análise, um método rigorosamente preciso, que possibilitará a comparação dos resultados obtidos.

A distribuição de tamanho de agregados é relacionada com o fluxo de água, a aeração, o crescimento de raízes, especialmente por sua relação com a macroporosidade. O tamanho dos agregados também é relacionado com a suscetibilidade à erosão, o encrostamento superficial, a difusão de oxigênio e de nutrientes. Sua determinação é feita pela quantidade de agregados retidos em peneiras de malha conhecida após agitação, que pode ser feita em água ou a seco, como segue:

- **Em água**

A mesma metodologia utilizada para medir a estabilidade de agregados em água, pode ser utilizada na determinação do tamanho de agregados, utilizando-se as sub-amostras de tamanho inferior a 4,76, 4,00 ou 2,00 mm. O pré-tratamento deve ser feito em vapor ou com um atomizador.

- **A seco**

Para esta determinação, W.S. Chepil desenvolveu um agitador rotatório para um conjunto de peneiras, como descrito por Kemper & Rosenau (1986) e EMBRAPA (1979). O solo deve ser amostrado com pouca umidade, em profundidades pré-fixadas, evitando-se compressão da amostra ou pulverização pelo ensacamento e transporte. No laboratório a amostra é seca sob condições de umidade e temperatura ambientes. Uma sub-amostra de peso conhecido é transferida para a peneira superior do conjunto de peneira e o equipamento é acionado por um tempo determinado. As frações retidas nas peneiras são então secas em estufa e pesadas. A expressão dos dados pode ser feita pelos índices já descritos (DMP ou DMG).

A densidade de agregados define o estado da microestrutura e da microporosidade do solo e pode ser determinada pela relação peso/volume, com a utilização de substâncias como parafina ou resina

(Blake & Hartge, 1986), ou com o uso de esferas de vidro ("glass beads") (Voorhees et al., 1966). O primeiro utiliza a mesma metodologia preconizada para a densidade do solo com o método do torrão. O segundo consiste em misturar uma amostra de agregados secos ao ar com esferas de vidro de 38 microns em um cilindro de volume conhecido, completando o volume com esferas de vidro e pesando o cilindro. A densidade dos agregados (dag), em gramas/cm³, é dada pela expressão:

$$\text{dag} = \frac{\text{Pag}}{\text{Vc} + (\text{Pesf}/\text{desf})}$$

onde: Pag = peso seco dos agregados, em gramas,
 Vc = volume do cilindro, em cm³,
 desf = densidade das esferas de vidro, em g/cm³, determinada no mesmo cilindro e nas mesmas condições do teste de densidade.
 Pesf = peso das esferas, em g, dado pela expressão:
 $\text{Pesf} = P(\text{esf} + \text{ag}) - \text{arPag}$
 onde: arPag é o peso da amostra seca ao ar.

Muitos dos trabalhos realizados sobre densidade do solo se referem, na verdade, ao estado de unidades individuais, ou agregados, construídos artificialmente pela compressão de solo em laboratório. A resistência do solo à penetração de raízes medida nestes trabalhos é, na verdade, mais relacionada com densidade e resistência dos agregados, que a medições a partir de grandes volumes de solo (Rogowski, 1964; citado por Barley & Greacen, 1967).

A argila dispersa em água indica a estabilidade dos micro-agregados e o grau de floculação dos agentes cimentantes no solo. A dispersão da argila é relacionada com a susceptibilidade dos agregados à dispersão pela ação do vento, das gotas de chuva, e a ação de implementos agrícolas, em especial aqueles utilizados no preparo do solo.

Os métodos utilizados na determinação são os mesmos da análise granulométrica, excluindo-se o uso de dispersantes químicos (EMBRAPA, 1979, e Gee & Bauder, 1986), e consistem basicamente na determinação da fração argila (menor que 0,002 mm) através da amostragem de uma alíquota (método de pipeta) ou da determinação da densidade (método do densímetro). O solo utilizado é seco ao ar, peneirado a 2 mm, dispersado em água com agitador elétrico ou rotativo e novamente peneirado para separação da fração areia e agregados acima de 0,053 mm. O tempo de amostragem da fração argila é função da temperatura da solução.

A dispersão da argila em água varia com a metodologia adotada, em especial com a concentração de solo (amostra inicial) na solução e com o método, tempo e condições da agitação da amostra (So & Cook, 1987). Esta dependência obriga a definição e descrição detalhada da metodologia utilizada para discussão e comparação dos resultados obtidos.

A expressão dos resultados pode ser feita pelo teor de argila dispersa em água em uma amostra de solo seco ou pelo grau de dispersão, em função dos teores de argila dispersa em água e argila total no solo.

POROSIDADE DO SOLO

A porosidade é, por definição, a fração do volume de solo ocupado com água e ar, ou mais especificamente, com a solução e a atmosfera do solo. O comportamento do solo pode ser previsto pela qualificação e quantificação de sua porosidade. As características mais importantes da porosidade são o tamanho, arranjo e a continuidade dos poros.

A porosidade do solo compreende os espaços vazios entre os agregados, ligados por pequenos vazios entre partículas dentro dos agregados. A distribuição por classe de tamanho sugere a classificação da porosidade em duas classes distintas: macro e microporos. Intervalos diferentes para estas duas classes tem sido sugeridos tendo como base o diâmetro equivalente dos poros. São assim considerados microporos, os poros com diâmetros de 0,2 a 30

microns, e macroporos, os poros entre 50 e 300 microns.

Estas classes de poros tem também funções distintas e ocupam posições relativas diferentes no solo (Figura 7). A maior parte da atividade biológica do solo, especialmente o crescimento de raízes, ocorre nos macroporos, os quais são também responsáveis pelo fluxo de água e ar, sendo relacionado com a

infiltração, condutividade e drenagem de água no solo. Microporos, por outro lado, são relacionados com a retenção de água e a difusão de nutrientes no solo, além de comportarem o crescimento de bactérias, fungos, pelos absorventes e pequenas raízes laterais. Isto sugere uma distribuição bimodal, com picos de freqüência para estas duas classes de poros como o requisito mínimo para o crescimento das raízes e a produtividade do solo.

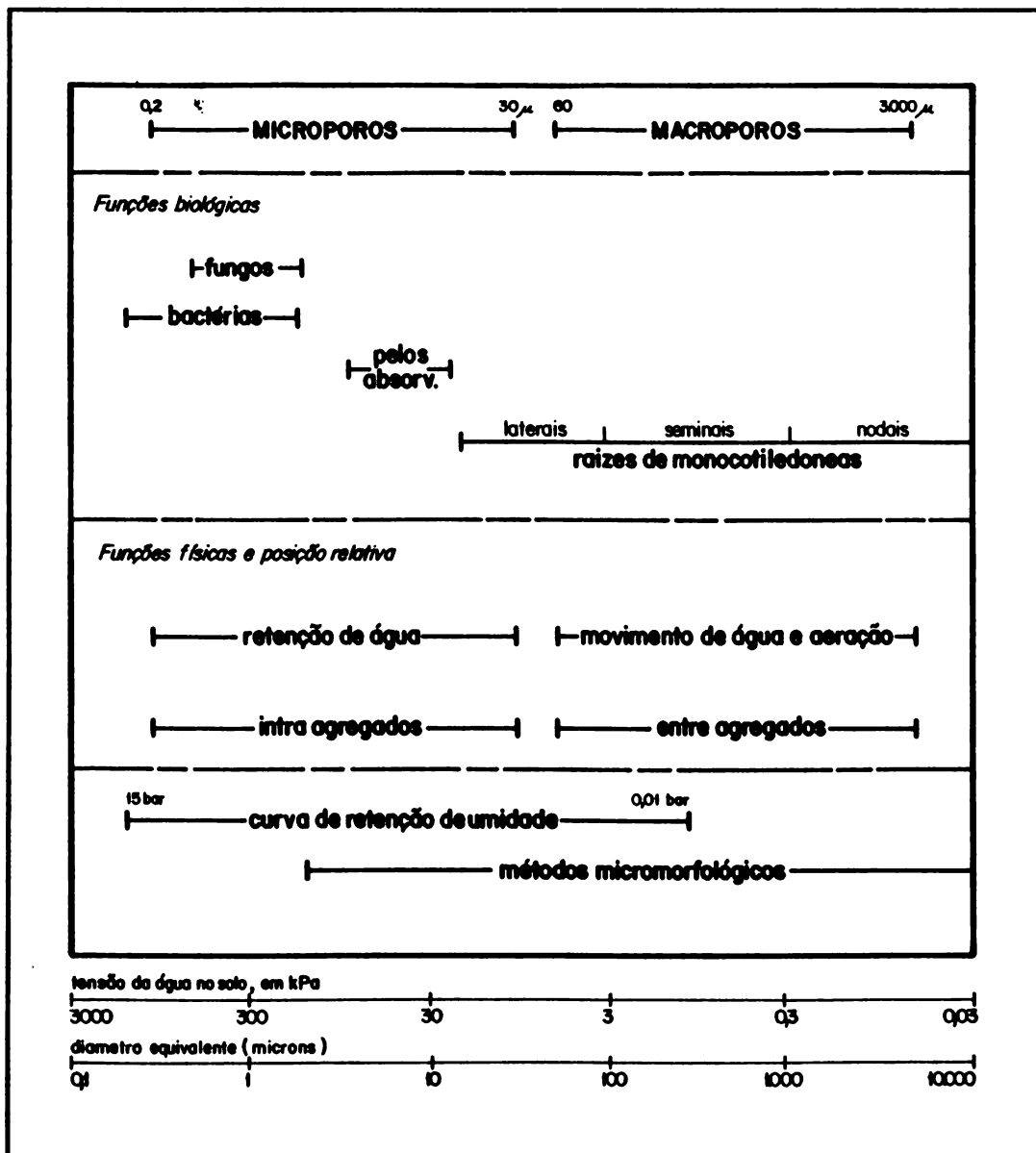


Figura 7. Classificação do espaço poroso do solo, funções biológicas e físicas, posição relativa e métodos de avaliação (baseado em Hamblin, 1985).

Quanto a sua posição relativa, macroporos são espaços entre agregados, originados de vazios que ocorrem quando do arrançamento destes ou dos canais feitos por raízes, pequenos animais, forças de expansão/ contração, e pelo cultivo. Microporos são espaços encontrados entre partículas dentro dos agregados e dependem da textura do solo e da densidade dos agregados.

Thomasson (1978) propôs uma classificação similar da porosidade, associando as duas classes de poros com suas principais funções. Na classificação proposta, o autor considerou macroporos como responsáveis pela capacidade de aeração (Ca), onde ocorre o movimento de ar e água. Estes representam poros e fissuras com diâmetro acima de 60 microns, encontradas entre agregados em solos estruturados ou os grande poros entre partículas em solos de textura arenosa. Microporos foram considerados como responsáveis pela água disponível (Ad), os quais suportam o crescimento de plantas em períodos de déficit hídrico e consiste de poros intra-agregados, no intervalo de 0,2 a 60 microns, excluindo assim os poros muito finos. O autor considerou que solos com boas condições estruturais deveriam conter acima de 10 % de Ca e 15 % de Ad.

Diferentes fatores podem influenciar a porosidade. Assim, microporos são altamente susceptíveis à contração por secamento, especialmente no intervalo de 0,01 a 0,2 microns. A contração de microporos significa que o solo está perdendo a capacidade para retenção de água. Macroporos são muito susceptíveis ao cultivo, especialmente em solos sujeitos a forças compactadoras.

A distribuição de tamanho de poros (DTP) é altamente susceptível ao manejo, especialmente os macroporos. Referências sobre efeito do manejo, no entanto, não são consistentes, sendo que o resultado depende do tempo decorrido após a aplicação do tratamento e o período do ano em que as determinações são realizadas. Em um solo arado, por exemplo, mudanças na DTP podem ocorrer durante os dois primeiros meses após o preparo. Por outro lado, mudanças em um solo sob plantio direto tornam-se evidentes apenas após muito anos, dependendo das condições do solo (Hamblin, 1985).

Culturas instaladas também podem interagir com tratamentos de preparo do solo resultando em alterações no solo, tais como a expansão do diâmetro de macroporos e a conseqüente contração de microporos ao redor. Apesar de freqüentemente correlacionada com a textura e a densidade, melhores correlações foram encontradas entre DTP e a estrutura do solo, especialmente com o tamanho, arranjo e estabilidade de agregados.

A continuidade dos poros é outra característica a ser considerada. Os espaços entre agregados só serão efetivos como condutores de fluidos e significantes para plantas se eles forem conectados com outros espaços, formando poros contínuos. Isto é constatado em estudos onde a superfície do solo é arada ou perturbada, resultando na alteração do arranjo de poros. Dois efeitos podem ser observados neste caso: a interrupção física da continuidade vertical dos poros e a ocorrência de porosidade e DTP diferentes entre a camada arável e a camada abaixo. A continuidade de poros pode ser atribuída também a fatores físicos, como processos de contração/expansão, ou a fatores biológicos, como raízes e pequenos animais.

- Metodologias de determinação

A distribuição de tamanho de poros (DTP) pode ser determinada considerando os poros do solo como um feixe de tubos capilares, onde a tensão superficial atua na interfase vidro-líquido-ar. Nestes tubos, a altura da elevação do líquido acima da superfície (pressão atmosférica) é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo. A altura de elevação do líquido (Hc) no tubo pode ser, desta forma, relacionada ao seu gradiente de pressão (p) e ao diâmetro do tubo (d), da seguinte forma:

$$H_c = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{\sigma A}{\gamma d} \cos \theta$$

onde: γ é o peso específico do líquido,
 σ é a tensão superficial do líquido, em N/m,
 d é o diâmetro do tubo capilar, em m,
 α é o ângulo de contato entre o líquido e o tubo.

Esta analogia vem sendo considerada na determinação da DTP a partir da curva de retenção de água no solo. Aplicando uma pressão p no solo, a água, cuja tensão superficial é igual a 0,073 N/m, a 20°C, e o ângulo de contato é zero, é retida por poros cujo diâmetro é menor que aquele calculado pela equação:

$$d = \frac{300}{\Delta p}$$

onde: d é o diâmetro dos poros, em microns, e Δp é a pressão aplicada, em kPa.

Cuidados devem ser tomados com a contração da amostra pela aplicação da pressão, que causa a perda de estabilidade dos poros e a consolidação do solo, ainda a pressões tão baixas como 30 kPa. A susceptibilidade da amostra de solo à consolidação é função do conteúdo de argila e sua densidade ou resistência, sendo que a contração pode ocorrer em solos com qualquer conteúdo e tipo de argila (Lawrence, 1977).

Uma outra técnica baseada na analogia descrita é a intrusão de mercúrio, pela qual os diâmetros equivalentes de poros são estimados pela intrusão de volumes conhecidos de mercúrio em uma amostra de solo seco. Esta técnica se utiliza das propriedades do metal, que é um líquido não polar à temperatura ambiente e com um ângulo de contato maior que 90°. A pressão aplicada pode chegar a 400 MPa, permitindo a avaliação de poros tão pequenos quanto 0,01 microns.

A alta pressão necessária para penetração do mercúrio e a necessidade de assumir valores de tensão superficial e ângulo de contato são as principais limitações do método Lawrence (1977).

Um método direto de determinação da DTP e o estudo micromorfológico do solo. Esta técnica, descrita anteriormente, permite o exame e medição direta do volume e da DTP (Bullock et al., 1985).

Para facilitar a observação das lâminas delgadas, técnicas de análise automática de imagens podem ser utilizadas. A técnica consiste em detectar imagens com uma câmera de alta resolução diretamente de um

microscópio ou de fotos de lâminas delgadas. O sinal é codificado e transmitido para um computador, que analisa a imagem recebida a partir de seus contrastes de cor. Os poros podem então ser contados e classificados por área, perímetro ou comprimento. Esta técnica, ainda em desenvolvimento, permite a caracterização da macroporosidade do solo.

A associação de métodos para determinação da porosidade, permite o estudo de poros com diâmetro equivalente variando entre 0,02 microns e 10 mm ou mais, que constitui o intervalo mais importante para a caracterização estrutural do solo. Neste intervalo podem ser utilizados simultaneamente a curva de retenção e o estudo micromorfológico.

As observações morfológicas, macro e microscópicas, devem ser feitas juntamente com a quantificação da porosidade. Tais observações servem para mostrar a maneira pela qual os constituintes estão associados, dando importância às relações mútuas ou as relações com outros constituintes da fase sólida (argila, óxidos, matéria orgânica, etc.). As análises morfológicas permitem igualmente precisar a natureza do espaço poroso (fissuras, vazios, canais, pedotubos, etc.). O conjunto destes resultados permite o entendimento dos diferentes níveis de organização ou o estado estrutural do solo, como, por exemplo, no caso dos latossolos:

- Em uma escala macroscópica (a campo) pode-se observar freqüentemente uma rede de fissuras cuja periodicidade pode ser decimétrica.
- Observando-se com uma lupa, pode-se observar as fissuras que delimitam os elementos estruturais, geralmente na forma de blocos subangulares.
- Na escala da lâmina delgada pode-se identificar a organização microestrutural característica.
- Sob microscópio eletrônico, pode-se observar o resultado do empilhamento dos cristais de argila e óxidos dentro dos macroagregados.

Este conjunto de dados físicos e morfológicos permite definir os grandes tipos de organizações dos solos e permite seguir as variações dessas organizações em relação com o comportamento do solo.

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. José Elvir Denardin e Rainoldo A. Kochhann pelo convite para apresentar o presente trabalho. A CNPT/EMBRAPA e ao CIMMYT, na pessoa do Dr. Patrick Wall, que tornaram possível a presença dos autores na reunião. Ao desenhista Marcos Aurélio Gonçalves pela ajuda com as figuras.

LITERATURA CITADA

- BARLEY, K.P. & GREACEN, E.L. 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. *Ad. Agron.* 19:1-43.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. 1986. Particle density. In: KLUTE, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1 - Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p.337-382. (ASA/SSSA. Agronomy, 9).
- BLANCANEUX, P. 1985. Organisation et comportement hydrologique de deux couvertures pédologiques sur granito-gneiss de la région de Grégoire en Guyane Française. Paris, ORSTOM. 319p. (Tese de Doutorado). T.D.M. 37.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, T. 1985. Handbook for soil thin section description. England, Intern. Soc. Soil Sci. & Waine Res. Publications. 152p.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & McGRACKEN, R.J. 1980. Soil genesis and classification. 2.ed. Ames, Iowa St. Univ. 406p.
- DUCHAUFOR, P. 1965. Précis de pédologie. 2.ed. Masson, Paris.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1979. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS. n.p.
- EMERSON, W.W. 1959. The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.* 10:235-244.
- FITZPATRICK, E.A. 1984. Micromorphology of soils. Londres, Chapman and Hall. 433p.
- FREITAS, P.L. de. 1988. Effects of soil structure on root growth and function. Ithaca, Cornell University. 313p. (Tese de Doutorado).
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. 1986. Particle size analysis. In: KLUTE, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1 - Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p.383-411. (ASA/SSSA. Agronomy, 9).
- HAMBLIN, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Ad. Agron.* 38:95-158.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS G. & ALLEN, O.N. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Ad. Agron.* 18:107-169.
- KEMPER, W.D. 1965. Aggregate stability. In: KLUTE, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1 - Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p.511-519. (ASA/SSSA. Agronomy, 9).
- & CHEPIL, W.S. 1965. Size distribution of aggregates. In: KLUTE, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1 - Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p.499-510. (ASA/SSSA. Agronomy, 9).
- & ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A.K. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1 - Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, ASA/SSSA. p.425-442. (ASA/SSSA. Agronomy, 9).
- KUBIENA, W.L. 1953. The soils of Europe; illustrated diagnosis and systematics. London, Edit. Anglaise: Thomas Murby.
- LAWRENCE, G.P. 1977. Measurement of pore sizes in fine-textured soils: a review of existing techniques. *J. Soil Sci.* 28:527-540.
- LE MOS, R.C. de & SANTOS, R.D. dos. 1982. Manual de métodos de trabalho de campo. 2.ed. Campinas, SBCS. 46p.
- LOW, A.J. 1954. The study of soil structure in the field and the laboratory. *J. Soil Sci.* 5:57-78.
- 1972. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grassland and arable soils (1945-1970). *J. Soil Sci.* 23:363-380.
- RANZANI, G. 1969. Manual de levantamento de solos. 2.ed. São Paulo, E. Blucker. 167p.
- RUSSELL, M.B. 1949. Methods of measuring soil structure and aeration. *Soil Sci.* 68:25-35.
- SO, H.B. & COOK, G.D. 1987. Measuring dispersion of clay soils. In: *Effects of Management Practices on Soil Physical Properties: WORKSHOP, Queensland, 1987. Proceedings...*, Brisbane, Queensland, Department of Primary Industries. p.102-105.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy. Washington, U.S.Govt. Printing Office. 754p. (SCS/USDA. Agric. Handbook, 436).
- THOMASSON, A.J. 1976. Towards an objective classification of soil structure. *J. Soil Sci.* 29:338-346.
- VORHEES, W.B.; ALLMARAS, R.R. & LARSON, W.E. 1966. Porosity of surface soil aggregates at various moisture contents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:163-167.

Anexo 1. EXEMPLO DE DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DA ESTRUTURA DE UM PERFIL DE SOLO

PERFIL: LSG6
CULTURA: FEIJÃO IRRIGADO
LOCAL: Área Experimental - SNLCS/Goiânia

TRATAMENTO: GRADE PESADA (Profundidade: 10 cm)
COLETADO POR: P. Blancaceaux; L.T.C. Silva & P.L. de Freitas
DATA: 29 de outubro de 1990

horizonte:	Ap1	Ap2	ABp
profundidade:	0 - 8 cm;	8 - 28 cm;	28 - 50 cm;
umidade:	ligeiramente úmido;	ligeiramente úmido;	ligeiramente úmido;
cor:	bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4);	vermelho escuro (2,5YR 3/6);	vermelho escuro (2,5R 3/6);
manchas:	sem manchas;	sem manchas;	sem manchas;
matéria orgânica:	diretamente discernível com fragmentos milimétricos de matéria	diretamente discernível com matéria orgânica carbonizada;	não diretamente discernível;
hidróxidos:	em forma difusa no conjunto do horizonte;	em forma difusa no conjunto do horizonte;	em forma difusa no conjunto do horizonte;
elem. grosseiros:	ausentes;	ausentes;	ausentes;
textura:	argila (areia fina de quartzo e mica);	argila (areia fina de quartzo e mica);	argila (areia fina de quartzo e mica);
estrutura:	fragmentar, nítida, generalizada, pequena, em blocos subangulares com sub-estrutura em grumos, fraca;	fragmentar, muito nítida, generalizada, média, em blocos angulares, forte;	fragmentar, muito nítida, generalizada, média, em blocos angulares, sub-estrutura em blocos subangulares, moderada;
porosidade:	material poroso, poros tubulares finos, com tendência de orientação horizontal, sem fissuras;	agregados com numerosos poros, finos, tubulares, com orientação vertical;	material poroso, poros tubulares, sem orientação predominante;
revestimentos argilosos:	delgados de compressão;	poucos;	ausentes;
consistência:	semi-rígida, pouco cimentado, plástico, adesivo, friável, frágil, com revestimento argilosos;	semi-rígida, pouco cimentado, plástico, adesivo, friável, pouco frágil;	semi-rígida, adesivo, plástico friável, frágil, pouco cimentado;
raízes:	numerosas, finas e médias, desviadas horizontalmente no limite inferior do horizonte;	poucas, finas verticais e horizontais, no conjunto do horizonte;	algumas raízes finas localizadas com orientação vertical;
ativ. biol.:	forte;	forte;	média.
obs.:		horizonte mais compacto que o anterior devido ao tratamento;	
transição:	transição muito nítida, ondulada.	transição gradual, ondulada.	

Anexo 2. PRINCIPAIS TIPOS DE MICROESTRUTURA¹

grãos simples

grãos do tamanho de areia, material pequeno ou não fino em espaços intergranulares; grãos soltos ou com contatos parciais.

single grain structure

estrutura de grãos unidos (ponte)

grãos do tamanho de areia, unidos por material fino, normalmente argila.

bridged grain structure

estrutura de grãos recobertos

grãos do tamanho de areia, recobertos com um filme de material fino.

pellicular grain structure

estrutura de grãos com microagregados

grãos do tamanho de areia, entre os quais existem microagregados de material fino.

intergrain micro-aggregate structure

estrutura de grãos com poros vesiculares

grãos do tamanho de areia, com várias vesículas, além dos vazios individualizados ("simple packing grains").

intergrain vesicular pore structure

estrutura de grãos com canais

grãos do tamanho de areia, interconectados por um sistema de canais.

intergrain channel structure

estrutura de grãos compacta

grãos do tamanho de areia, sendo a maioria ligados de tal forma que o padrão dominante dos poros é predominantemente intergrãos.

compact grain structure

estrutura com vazios isolados

agregados não separados (compacto). Massa é interrompida por vazios não interconectados e por alguns canais e câmaras.

vughy structure

estrutura esponjosa

agregados não separados, com poucos ou nenhum agregado totalmente separado. Frequentes espaços abertos, fortemente conectados.

spongy structure

estrutura com canais

agregados não separados; espaços vazios dominantes são canais.

channel structure

estrutura em câmaras

agregados não separados; espaços vazios dominantes são câmaras.

chamber structure

estrutura vesicular

agregados não separados; espaços vazios dominantes são vesiculares.

vesicular structure

estrutura em grumos

agregados mais ou menos arredondados, frequentemente rugosos, não acomodados entre si. Interior dos agregados pode ser composto por grânulos pequenos, mais ou menos unidos.

crumb structure

estrutura granular

grânulos são separados por espaços de arranjo composto, não acomodados, contendo poucos ou nenhum espaço vazio ou unidades pequenas reconhecíveis.

granular structure

¹ Baseado em Bullock, P.; Fedoroff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G. & Tursina, T. *Handbook for soil thin section description*. England, ISSS & Waine Res. Publications, 1985.

Infiltração de água em pesquisa de manejo do solo

por Dalvan José Reinert ¹

O estudo da infiltração da água no solo é uma das medidas mais importantes para caracterizar e diferenciar sistemas de manejo do solo. Através desta medida é possível inferir sobre os diferentes parâmetros físicos do solo como textura, densidade, porosidade, agregação, compactação e outros, bem como, sobre o desenvolvimento das culturas.

Os seguintes métodos são utilizados na determinação da infiltração da água no solo:

BACIA HIDROGRÁFICA

A infiltração de água é determinada a partir de dados de chuva natural onde são feitas medições contínuas de precipitação e escoamento superficial. É um método trabalhoso, de custo relativamente alto e que requer medidas de vários anos.

SIMULADOR DE CHUVA

A infiltração é determinada com chuva por diferença entre a quantidade de água aplicada e escoada na superfície do solo. Existem basicamente 2 tipos de simuladores: simuladores com braços rotativos e os de torres. Os simuladores com braços rotativos são mais utilizados para medir a erodibilidade do solo utilizando parcelas grandes (3 m x 11 m). Apresentam, entretanto, o inconveniente do difícil deslocamento nas diferentes áreas. Os simuladores com torres são

utilizados em pequenas parcelas, entretanto, o efeito oscilante dos bicos pode superestimar a infiltração da água.

Uma alternativa para solucionar este problema seria a utilização do simulador de torre desenvolvido no convênio IAPAR-GTZ, o qual forma gotas através de capilares.

INFILTRÔMETRO

Este método é o mais antigo, permite medidas de infiltração através da aplicação de uma lâmina de água na superfície do solo. Apresenta o inconveniente da água se movimentar preferencialmente através das paredes do cilindro.

PERMEÂMETRO DE GUELPH

Este método é mais recente (foi sugerido pelo Dr. Sidney Rosa Vieira) e permite a medida de infiltração de água dentro do anel como também em qualquer camada do perfil através de orifícios abertos na profundidade desejada.

Na discussão, houve um consenso geral de que os resultados obtidos com infiltrômetro não podem ser comparados com os resultados obtidos com o método do simulador de chuva. O simulador de chuva é ideal para estudos na superfície do solo onde há presença de resíduos vegetais. Para discriminar o efeito do manejo no perfil do solo o permeâmetro de Guelph é o método mais indicado.

Não houve uma polarização de métodos, sugeriu-se utilizar o método disponível levando em conta os objetivos do trabalho e os recursos disponíveis.

¹ Professor da UFSM-Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Solos, Santa Maria - RS.

LITERATURA CONSULTADA

- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. e DERPSCH, R. 1986. The effect of different soybean tillage systems on infiltrability and erosion susceptibility of an Oxisol in Parana, Brazil. *J. Agronomy & Crop Sci.* 157:217-226.
- SOUZA, M.D. 1985. Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes manejos. Tese MS, UFRGS. 133p.
- WILDNER, L.P. 1985. Efeito da adição de diferentes resíduos orgânicos nas perdas de solo e água em um solo PVA. Tese MS, UFSM. 100p.

Densidad aparente y porosidad del suelo

por Elías Letelier Almeyda¹

IMPORTANCIA DE LA DENSIDAD APARENTE (D.AP.)

Es necesario conocer la densidad aparente para determinar la cantidad de agua o de nutrientes que existen en el perfil del suelo hasta una determinada profundidad o en un estrato de él. Para efectuar cualquier balance hídrico o de nutrientes debe determinarse previamente este parámetro.

IMPORTANCIA DE LA POROSIDAD

La cifra de porosidad total, en si misma, es de escaso valor pues suelos de muy distintas características (uno arenoso y otro arcilloso por ej.) pueden tener el mismo o muy semejante porcentaje de poros. Lo que importa es la abundancia relativa de poros pequeños capilares (que retienen el agua y limitan su difusión) y poros grandes que facilitan la evaluación por gravedad del agua y contribuyen a la aireación de la rizósfera.

DENSIDAD APARENTE Y HUMEDAD

La densidad aparente (y por lo tanto la porosidad) puede variar

mucho en los suelos expandibles (grumosoles por ej.) según el porcentaje de humedad a que se toma la muestra. Aún en suelos no grumosólicos este efecto puede ser considerable. Así por ejemplo, en una serie de determinaciones efectuadas sobre ocho series de suelos por el método del núcleo cilíndrico y con diversos grados de humedad, se obtuvieron en promedio las cifras indicadas en la Figura 1 (Miller, 1966); se puede apreciar que entre 10 y 30 % de humedad la densidad aparente en el horizonte B2 varía en cuatro décimas; en el horizonte A esta variación, es de tres décimas.

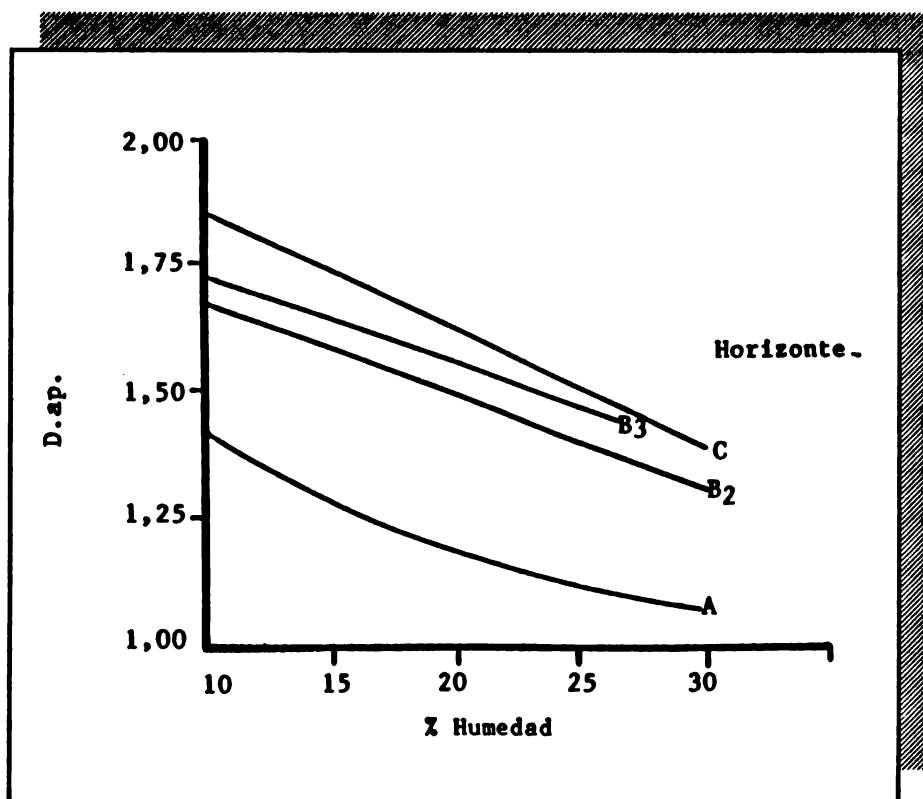


Figura 1.
Relación entre humedad y D.ap. en ocho suelos (Miller, 1965).

¹ Investigador Programa Ecología y Producción. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental La Platina, Santiago, Chile.

Si los errores de interpretación a que los puede llevar este hecho son importantes, si no es tomado debidamente en cuenta, en la determinación de la densidad aparente y de la porosidad total, más graves aún pueden ser en la determinación de la macroporosidad. El porcentaje de macroporos se estima como la diferencia entre la porosidad total y la microporosidad capilar (poros menores de 8μ). Esta última es la capacidad de campo (medida por el método de campo o por la olla de presión) multiplicada por la densidad aparente. Y, como lo expresa Duchaufaur (1965), si la microporosidad se mide en húmedo, y así se hace en los dos métodos indicados, la porosidad total también debería determinarse en húmedo.

Si la porosidad total se determina con un porcentaje bajo de humedad, la macroporosidad aparece mucho más baja de lo que es en realidad; de hecho, en algunos trabajos aparece implícitamente con valores negativos.

Considerando la importancia que estos errores pueden tener, llama la atención que pocos textos de uso corriente en Agronomía indiquen con que porcentaje de humedad debe determinarse la densidad aparente. Algunos sí lo hacen, como Baver (1973) quien recomienda estandarizar las muestras a humedad de campo. Pero aún la muy buena recopilación de O'Connell (1975) sobre este tema, se refiere a esta causa de error sólo en forma muy tangencial.

MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y DE LA POROSIDAD TOTAL, CORRIENTEMENTE UTILIZADAS EN EL CAMPO

La densidad aparente y la porosidad están relacionadas por la ecuación:

$$P = 1 - \frac{D.ap.}{D.r.} \times 100$$

en la que P es porosidad total, D.ap. la densidad aparente y D.r. la densidad real del suelo. La densidad real del suelo se puede determinar en forma precisa por el picnómetro y en forma muy aproximada con una probeta. La densidad real es muy constante y sus valores oscilan entre 2,45 y 2,65 (Demolon, 1951). En la zona central de Chile un gran número de determinaciones dio como promedio 2,62 en la capa arable y 2,65 más abajo (Ruz, García Huidobro y Alcayaga, 1977). En suelos orgánicos este valor puede ser algo menor; en los suelos volcánicos chilenos la densidad real es entre 2,20 y 2,40 (Bernier y Valenzuela, 1966; Vidal y del Canto, 1983). De modo que, en general, y para los objetivos agronómicos no es necesario determinar la densidad real, pudiendo adoptarse para todas las muestras el valor promedio aceptado para la región o tipo de suelo en que se trabaja.

Los métodos más utilizados en la práctica agronómica para la determinación de la densidad aparente se pueden dividir en métodos de campo y de laboratorio.

- Métodos de campo

Hoyo con arena (Hardy, 1970)

Este método es muy bueno, pues la muestra está sometida a muy poca compresión. Se presta especialmente para capas superficiales del suelo. Si se desea muestrear más profundo debe hacerse una calicata, lo que resulta bastante trabajoso si se hace un número conveniente de repeticiones.

Núcleo cilíndrico

Según Vomocil (1957) el cilíndrico debe tener por lo menos 7,5 cm de diámetro interno para disminuir la presión que las paredes del cilindro ejercen sobre el suelo. Sin embargo, aún con un cilindro de 7,62 cm de diámetro se obtienen evidencias de errores producidos por compresiones (Zuvarich y Shaykawich, 1969).

Hay dos maneras de utilizar el cilindro:

1. Se introduce el cilindro hasta el borde superior, aunque el suelo que contenga no alcance dicho borde.

2. Se introduce el cilindro hasta que el suelo que contenga alcance el borde superior.

Barreno

Se usan barrenos de un diámetro de unos 11 cm que hagan un hoyo con fondo plano; se mide con una regla el diámetro y la profundidad del hoyo. Este método produce muy poca compresión y se estima que los valores obtenidos deben ser similares a los del cono de arena. Tiene la ventaja sobre éste de permitir un trabajo más expedito cuando se desea trabajar en profundidad.

- Método de laboratorio

Terrón recubierto

Es el método más utilizado en el laboratorio (López y López, 1985). No es cómodo para trabajar en profundidad, pues deben hacerse calcatas para extraer los terrones y al efectuar en este trabajo, es muy probable que el suelo sea comprimido por la herramienta extractora.

Agua capilar

Este método ha sido desarrollado en INIA y consiste esencialmente en medir la porosidad por intermedio del agua que puede absorber por capilaridad un terrón de peso conocido (Letelier, 1981). Sus ventajas son su sencillez y el hecho de que todas las muestras se estandarizan automáticamente a la humedad de saturación del terrón.

COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS

Zwarich y Shaykewich (1969) compararon los dos métodos de núcleo cilíndrico con el del cono de arena, que se considera como el que da las cifras más reales. Utilizaron los horizontes A y B de 10 suelos canadienses de origen glacial tomando cuatro a ocho muestras en cada sitio; no dan detalles respecto a la humedad en que se hicieron las determinaciones. El método "a" del núcleo cilíndrico da siempre los valores más bajos de

D.ap. no alcanzando el suelo dentro del cilindro hasta el borde superior de él. Los autores atribuyen esta menor D.ap. a la compresión frontal del núcleo del suelo. En el método "b" se obtuvieron tanto valores más altos como más bajos que en el cono de arena; los valores más bajos los atribuyen a requiebrajamentos del núcleo del suelo y los valores más altos a compactación lateral.

Un resumen de las mediciones de D. ap. y las correlaciones entre métodos efectuados por estos autores se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. D.ap., \bar{x} de 12 sitios

	Cono arena	Cilindro "a"	Cilindro "b"
Horizonte A	1,38	1,18	1,34
Horizonte B	1,44	1,29	1,45
Correlaciones:			
Cono arena-cilindro "a", $r = 0,75$			
Cono arena-cilindro "b", $r = 0,77$			
Cilindro "a" cilindro "b", $r = 0,96$			

Fonte: Zwarich y Shaykewich, 1969.

No es de extrañar la alta correlación entre ambas variantes del método del cilindro ya que sus muestras difieren solamente en unos pocos cm de suelo, siendo las presiones ejercidas las mismas en ambos procedimientos.

Letelier y Ferreyra (1990) determinaron la D.ap. de cuatro estratos en 12 suelos de tres zonas agrícolas de Chile. En cada uno de los sitios se humedeció el perfil del suelo hasta por lo menos 50 cm de profundidad; cuando se estimó que había alcanzado la capacidad de campo se tomaron muestras a cuatro profundidades con un cilindro de 8,3 cm de diámetro utilizando el método "a". En una calicata adyacente e igualmente humedecida se tomaron cuatro muestras de terrones, dos de las cuales se destinaron al método del cilindro recubierto (con parafina) y las otras dos al método por capilaridad. Los terrones destinados al método del

terron emparafinado fueron humedecidos en el laboratorio antes de recubrirlos con parafina, hasta alcanzar la humedad de campo.

Los promedios de los cuatro sitios de cada región y las correlaciones entre métodos se indican en el Cuadro 2.

Los coeficientes de variabilidad de los dos métodos fueron:

1. Terrón emparafinado 3,1 %
2. Capilaridad 6,9 %

En el Cuadro 2 se observa, especialmente, en la Región Metropolitana y la VI Región que en el estrato 0-15 cm la D.ap. es más baja que en los otros dos métodos. Los autores atribuyen esto a que, siendo terrenos agrícolas, existen en este estrato huecos grandes que, por supuesto, no se incluyen en los otros dos métodos. En los estratos inferiores sucede lo contrario siendo consistentemente mayor la D.ap. determinada por el cilindro. Los autores lo atribuyen a la compresión ejercida por las paredes del cilindro; esto se manifiesta especialmente en texturas arcillosas.

PRESENCIA DE PIEDRAS EN EL SUELO

Las piedras grandes molestan bastante en el trabajo de terreno con el cilindro y pueden llegar a hacerlo imposible; en este caso, la alternativa es decidirse por el cono de arena. Si las piedras son pequeñas y están incluidas en las muestras, ya sea núcleo cilíndrico o terrón, ellas no alterarán el valor de la D.ap. ni la porosidad total (aunque seguramente aumentarán la variabilidad). Pero como las determinaciones de humedad o de nutrientes se hacen sobre una submuestra sin piedras, es necesario determinar un valor de densidad aparente "útil" (D.u) por el cual se multiplicarán los valores de porcentaje en peso obtenidos en la submuestra, para lograr el verdadero porcentaje en volumen de agua o de nutrientes. Para ello habría que medir el volumen ocupado por las piedras en la muestra original. Si por ej., la D.ap. en la muestra original es de 1,5 y las piedras ocupan un 20 % de su volumen entonces la D.u. puede calcularse de la siguiente

relación: $1,5 \times 100 = D_u \times 80 + 2,65 \times 20$, siendo 2,65 la D. real del suelo.

EJEMPLO DE DETERMINACIONES DE POROSIDAD EFECTUADAS EN UN ENSAYO PERMANENTE

Las determinaciones indicadas en el Cuadro 3 se hicieron sobre un ensayo efectuado en La Platina que ha tenido 27 años de comparación entre fertilización orgánica y mineral (Novoa, Martínez y Letelier, trabajo en prensa). La rotación es trigo-poroto y la fertilización indicada en el Cuadro se aplica todos los años.

Puede apreciarse que la aplicación continua de estiércol disminuyó significativamente la porosidad total y aumentó la microporosidad. Estos son efectos contradictorios en lo que se refiere a macroporosidad, la que aumentó moderadamente con la aplicación de materia orgánica.

LITERATURA CITADA

- BERNIER, R. y VALENZUELA, A. 1966. Características hídricas de ocho suelos de la provincia de Ñuble. Universidad de Concepción, Depto. de Suelos, Circular Informativa N° 13, pág. 6.
- DEMOLON, A. 1952. Dynamique du sol, Dunod, p.186-187.
- HARDY F. 1970. Edafología Tropical, Herrero Hermanos. p.17-19.
- LETELIER, E. 1982. Medición de la densidad aparente del suelo por medio de la capilaridad. Agric. Técnica (Chile), Vol. 42, p.77-78.
- y FERREYRA, R. 1990. Comparación de tres métodos de medir la densidad aparente del suelo. Agricultura Técnica (Chile) 50(2):125-129.
- LOPEZ, J.R. y LOPEZ, J.M. 1985. El diagnóstico de suelos y plantas. Ed. Mundi-Prensa, p.170-171.
- NOVOA, R.; MARTINEZ, M. y LETELIER, E. Comparación de una fertilización orgánica y una mineral. (En prensa).
- O'CONNELL, D.J. The measurement of specific gravity of soils and its relationship to mechanical composition and plant growth In: soil physical conditions and crop production her Majesty's Stationary Office, Technical Bull, 29 p.298-313.
- RUZ, E.; GARCIA-HUIDOBRO, J. y ALCAYAGA, S. 1977. Caracterización hídrica y relaciones entre las propiedades

físicas en suelos regados de la provincia de Santiago. I. Características físicas de los suelos de la provincia de Santiago. Agricultura Técnica (Chile) 37:1-12.

VIDAL, I. y DEL CANTO, P. 1983. Propiedades físicas de los suelos de Ñuble, VIII Región. Agricultura Técnica (Chile) 43(3):195-202.

VOMOCIL, J.A. 1957. Measurement of bulk density and penetrability: a review of methods. Advances in Agronomy, Vol. IX:159-173.

ZWARICH, M.A. y SHAYKEWICH, C.F. 1969. An evaluation of several methods of measuring bulk density of soils. Can. J. Soil Sci. Vol. 49, 241-245.

Cuadro 2. D.ap. \bar{x} de cuatro sitios en c/región.

Profundidad cm	Región Metropolitana			VI Región			IX Región		
	Cilindro "a"	Capila- ridad	Terrón	Cilindro "a"	Capila- ridad	Terrón	Cilindro "a"	Capila- ridad	Terrón
0-15	1,11	1,45	1,35	1,16	1,38	1,30	0,95	1,05	1,03
15-30	1,51	1,38	1,45	1,55	1,24	1,27	0,93	0,98	0,99
30-40	1,57	1,43	1,48	1,36	1,26	1,21	1,23	1,04	1,06
40-50	1,41	1,35	1,44	1,42	1,21	1,22	1,19	1,04	1,03

Correlaciones:

Terrón - Cilindro $r = 0,72$

Terrón - Capilaridad $r = 0,85$

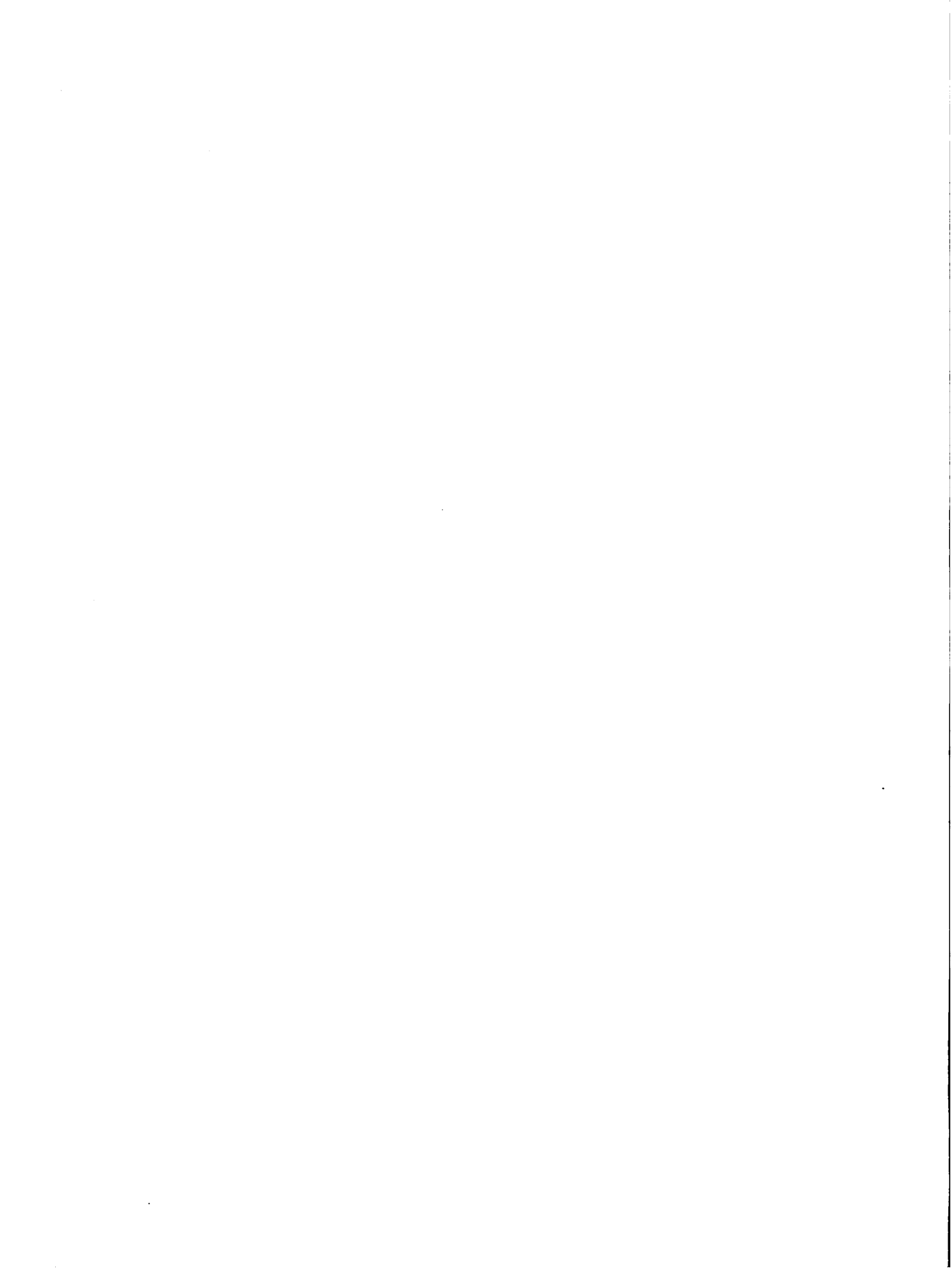
Cuadro 3. Efecto del estiércol y de la fertilización mineral en la capacidad de campo, densidad aparente y porosidad 0-15 cm.

Tratamientos	Capacidad campo % en peso*	Densidad aparente**	Porosidad %	Microporo- sidad*** %	Macroporo- sidad %
1. Testigo	23,8	1,18	55,5	28,0	27,5
2. 4 t Estiércol	25,1	1,14	57,0	28,6	28,4
4. 16 t Estiércol	28,3	1,06	60,0	30,0	30,0
5. NPK Equiv. 4 t Estiércol	23,7	1,17	55,8	27,7	28,1
7. NPK Equiv. 16 t Estiércol	24,2	1,20	54,7	29,0	25,7
Dif. Min. Signif. P: 0,05	1,5	0,08	-	-	-

* Método de campo.

** Método del cilindro a capacidad de campo.

*** Microporosidad = C.C. x D.ap.



Aplicações do cone penetrômetro

por J.V. Perumpral¹ e Evandro Chartuni Mantovani²

INTRODUÇÃO

O instrumento cone penetrômetro usado para medir a resistência do solo à penetração, tem sido usado há muitos anos, com uma aplicação bem variada em diferentes áreas, por causa de sua facilidade, rapidez e baixo custo de operação. As aplicações incluem: exploração de terrenos, determinação da resistência do solo, predição de traficabilidade, e a determinação do impedimento de penetração do sistema radicular e da compactação do solo. Os grandes fatores de influência que afetam a resistência do solo são: teor de umidade do solo, densidade do solo, dureza do solo e o tipo de cone, diâmetro da base, ângulo e aspereza da superfície.

HISTÓRICO

Embora a documentação não seja muito consistente, há indícios de utilização de cone penetrômetro já no ano de 1846. Um penetrômetro do tipo agulha, de 1 mm de diâmetro e de 1 kg de peso, foi usado para estimar a coesão de diferentes tipos de argila, de consistência diferente. Nos anos 30, penetrômetros de ângulo de base 90 graus foram utilizados para determinar a resistência à penetração como uma função de profundidade e dureza de argila. Durante esse mesmo período, um penetrômetro de bolso com um cone de ponta foi desenvolvido pela Danish Railroad para estimar coesão de solos e para determinar a capacidade de suporte permitida.

Ao se tornarem populares, várias versões de penetrômetros manuais ou mecânicos de diferentes capacidades (até 10.000 kg), foram colocados no mercado (Schemertmann 1975). A grande variedade de penetrômetros e procedimentos de testes resultaram em variação considerável dos dados coletados, acarretando uma dificuldade muito grande para os pesquisadores na interpretação correta dos resultados. Esta inconsistência de dados induziu a padronização de ambos, penetrômetros e procedimentos para testes.

Considerando a simplicidade da construção e uso de penetrômetro na avaliação de propriedades do solo, a U.S. Army Corps of Engineering, na Estação Experimental de Waterways, no Mississipi (WES) desenvolveu um cone penetrômetro, em 1948, para prever a traficabilidade de veículos (WES 1948). Esse penetrômetro é estático, de operação manual e tem uma penetração de no máximo 15 cm. O cone penetrômetro WES e suas versões modificadas tem encontrado um grande número de aplicações desde então.

TIPOS DE CONE PENETRÔMETRO

Penetrômetros tem sido largamente utilizados em diferentes aplicações. Sua popularidade pode ser atribuída às seguintes razões:

- a) São rápidos, de fácil operação e de baixo custo.
- b) Fornecem dados de teste que são de fácil interpretação.
- c) São ferramentas úteis para solos arenosos onde há dificuldade de se obter amostra de solo não deformada.

¹ Autor. ASAE: Paper 83 1549/Vol 30(54): July - August, 1987.

² Tradutor. Pesquisador do EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas-MG, Brasil.

Uma desvantagem, entretanto, pode ser colocada, é que eles não fornecem amostras para observação direta. De acordo com os problemas a serem estudados e das condições do terreno, os engenheiros desenvolveram uma grande variedade, tanto de equipamentos para teste, quanto de procedimentos para teste.

- **Cone penetrômetro para aplicação na engenharia civil**

Uma extensa revisão de literatura sobre os tipos de penetrômetros e seus usos para medições "in situ" está disponível em Sanglerat (1972) e Esopt (1974). Baseado nos procedimentos empregados para a penetração da ponta e na taxa de penetração, Schemertmann (1975) classificou os diferentes tipos de penetrômetros, como é mostrado no Quadro 1. Entre os vários tipos de penetrômetro, o método quase-estático e o método dinâmico de penetração são os mais comumente usados, embora o método quase-estático seja considerado superior, por causa da utilidade do dado que pode ser coletado usando este procedimento (Esopt 1974). Essa superioridade sobre o método dinâmico e a falta de padronização para o teste resultou no desenvolvimento de um método tentativo de teste, para ser usado em testes quase-estáticos, cone e cone-fricção e penetração em solos profundos, pela American Society for Testing and Material (ASTM) (Schmertmann 1978). Entretanto, detalhes desses testes não estão incluídos neste trabalho, pelo interesse de aplicação em agricultura.

- **Cone penetrômetro WES**

Um cone penetrômetro para avaliar a mobilidade dos veículos agrícolas foi desenvolvido pela Estação Experimental de Waterways (WES, 1948). Esse penetrômetro tem um cone circular com um ângulo de 30° e a base aérea da base de 1,61 cm² (0,5 pol.²). É montado numa haste graduada de 91,4 cm (36 pol) de comprimento e 0,95 cm (0,38 pol) de diâmetro. Um anel de prova com um ponteiro para indicar a resistência à penetração e uma alça são montados na parte superior da haste. O anel de prova é calibrado de

forma que o ponteiro indique a resistência do solo em termos de força por unidade de área ou índice de cone. Uma vez que os dados obtidos de resistência à penetração são dependentes de muitos fatores, como tamanho e forma do cone, taxa de penetração e rugosidade da superfície, tanto para obtenção de uniformidade dos testes quanto para facilitar a interpretação dos resultados, padrões para testes de resistência do solo à penetração foram estabelecidos pela American Society of Agricultural Engineering (ASAE, 1983).

Quando os testes com penetrômetro são conduzidos, o ponteiro é colocado primeiramente na escala com o valor zero. Em seguida, enquanto o penetrômetro é forçado no solo, a leitura do ponteiro ser feita a cada 2,5 cm (1") de avanço da penetração, o que é difícil pela necessidade de manter uma taxa constante de penetração de 1829 mm/min (72 pol/min) manualmente, durante o teste de penetração.

Visando reduzir a quantidade de pessoas para manusear o aparelho e evitar o uso manual, foi desenvolvido o penetrógrafo, com um mecanismo apropriado para manter a taxa de penetração constante. A primeira destas modificações foi a de instalar um registrador das leituras num penetrômetro operado manualmente (Carter 1967; Hendrick 1969; Prather et al., 1970). O penetrômetro desenvolvido por Prather et al. (1970) é um penetrômetro leve, que pode ser operado por uma só pessoa. Ele tem a capacidade de fornecer uma medição acurada e contínua dos dados de resistência à penetração em função da profundidade.

Carter (1972) desenvolveu um penetrômetro do tipo integrado que fornece a média da resistência do solo. É constituído de uma célula de carga, um amplificador e um gerador de sinais. Com o registro contínuo e circuito integrado, elimina o serviço manual de integração, tornando possível a obtenção da média da força de penetração.

Wildford et al. (1972) desenvolveram um penetrômetro acoplado ao trator para testes de penetração. Um cilindro hidráulico é usado para empurrar o penetrômetro contra o solo. Um registrador x-y registra os dados de penetração da relação força

e profundidade em qualquer ponto ao longo de três linhas de 1 m. Um similar, mas operado eletricamente, foi desenvolvido por Smith e Dumas (1978) para avaliar condições de esforços do solo ao longo de uma seção circular de 3,0 x 0,8 m. Esta unidade pode medir valores de índice de cone variando de 0 - 14.000 KPa.

Cones penetrômetros com microcomputador instalados foram desenvolvidos para registrar resistência à penetração. Philips e Perumpral (1983) modificaram um cone penetrômetro convencional para fornecer sinais elétricos correspondentes a resistência à penetração, pela colocação de célula de carga no anel de prova. Um sistema de aquisição de dados acoplado a um microcomputador foi desenvolvido para coletar os dados e armazenar os dados de resistência do solo à penetração. Embora isto forneça uma boa determinação (1 parte em 256), este protótipo requer 2 pessoas para conduzir os testes e obter os dados.

Woodruff e Lenker (1984) desenvolveram um tipo de cone penetrógrafo que é operado manualmente, o qual grava o dado de resistência à penetração em profundidade com incremento de 12 mm, até a profundidade de 100 mm, em um sistema de aquisição de dados eletrônico, que pode armazenar dados de 60 a 70 testes de penetração, de 48 leituras cada.

Wilkerson et al. (1982) desenvolveram uma unidade de teste mais elaborada para medir resistência do solo. Consiste de cone penetrômetro acoplado ao sistema hidráulico do trator, desenvolvido para operar em profundidade de até 61 cm (24") numa largura correspondente a 4 fileiras.

Uma unidade de controle com microprocessador é usada para ativar todos os movimentos do mecanismo e gravar automaticamente os dados em fitas magnéticas. A principal vantagem deste sistema é economia de mão-de-obra.

- Cone penetrômetro para medir o impedimento de crescimento do sistema radicular

Cones penetrômetros também tem sido usados para avaliar a resistência do solo ao desenvolvimento

do sistema radicular (Taylor et al., 1966; Camp e Lund 1968; Greacen et al., 1968; Bowen 1976). Os penetrômetros usados para esse propósito são menores do que os descritos anteriormente. Por não existirem padrões para esse tipo de aplicação, penetrômetros de vários tamanhos, pontas e taxa de penetração tem sido utilizados nas últimas duas décadas ou mais. Entre os vários cones utilizados, o mais comum tem a base de 3 mm e ângulo de 60°. A taxa de penetração é extremamente lenta, na faixa de 0,1 a 1 cm/h.

Num esforço de se conhecer com maior acurácia a resistência mecânica oferecida pelo solo ao sistema radicular, por meio de simulação de comportamento da raiz, Tollner e Verma (1984) desenvolveram um instrumento denominado impedômetro. O impedômetro é um cone penetrômetro com a ponta lubrificada, para reduzir a resistência devido a fricção causada pelo teor de umidade do solo. A eficiência desse aparelho em determinar a impedância mecânica para crescimento do sistema radicular ainda não foi demonstrada.

FATORES QUE AFETAM O ÍNDICE DE CONE

A resistência à penetração de um cone depende de muitos fatores. Freitag (1968) discutiu o efeito de fatores selecionados, como o tamanho da haste do penetrômetro, relacionado com o diâmetro de sua base, polimento da superfície do cone e à taxa de penetração. Encontrou que a resistência à penetração (medido em força/unidade de área da base do cone) de um cone, aumenta com o aumento do diâmetro da haste, acabamento da superfície do cone e da taxa de penetração, decrescendo com o ângulo e diâmetro da base do cone.

O efeito do ângulo da base do cone na resistência à penetração tem sido muito estudado. Em areia seca ao ar a resistência à penetração aumentou com o aumento do ângulo do ápice do cone (Nowatzki e Karafiath 1972). Em solos argilosos, o aumento do ângulo do ápice do cone de 7,5 para 30° diminuiu a resistência à penetração. Entretanto, aumento adicional do ângulo do ápice do cone de 30 para 60° aumentou levemente a resistência à penetração (Gil, 1968).

Em adição aos fatores listados acima, tipo de solo, densidade aparente e nível de umidade, influenciam a resistência à penetração. Testes de penetração conduzidos em areia seca ao ar, sob diferentes densidades, mostraram que grandes aumentos de índice de cone podem ser esperados de pequenos incrementos de densidade aparente (WES, 1964; Metzger 1971; Turnage 1974).

Estudos mais aprofundados relativos ao relacionamento de índice de cone-teor de umidade-densidade para solos argilosos foram estudados em teores de umidade mais altos (20-50 %) porque esses solos são mais susceptíveis a problemas de traficabilidade (WES, 1958; Knight, 1961; Smith, 1964; Turnage, 1970). Na faixa considerada, a resistência de penetração decresceu logaritmicamente em função do teor de umidade do solo para diferentes densidades. Voorhees e Walker (1977), num estudo semelhante num solo franco siltoso, investigaram o efeito da resistência à penetração em diferentes níveis de teor de umidade, variando de 20-30 %. Dos resultados, pode-se chegar a seguinte equação:

$$CI = 4527,75 - 137,09 MC$$

onde,

MC = teor de umidade, % base seca

CI = índice do cone, KPa

Embora os bons resultados tenham sido obtidos entre os dados experimentais e a predição de índice de cone, efeitos de densidade não foram considerados neste estudo.

Collins (1971) desenvolveu um estudo similar entre o índice de cone e níveis de teor de umidade no campo:

$$\ln CI = a + b (\ln MC)$$

onde,

a e b são constantes baseadas no tipo de solo

Foi observado que o índice de cone decresce com o aumento do teor de umidade do solo. O teor de umidade produz uma resistência à penetração que depende da porcentagem de argila e areia do solo. Um

aumento na porcentagem de argila no solo mostrou um aumento no requerimento do nível de umidade. O inverso foi verdadeiro para solos arenosos.

Knight (1948) investigou a relação entre índice de cone-teor de umidade-densidade para diferentes tipos de solo. Solo com variação de partículas grossas e finas foram considerados. Testes de penetração foram conduzidos numa amostra de solo preparada num molde, usando três níveis de esforço de compactação para variação de densidade. Embora muitas observações importantes tenham sido obtidas neste estudo, nenhum esforço foi feito para desenvolver qualquer relação. Algumas observações foram feitas durante este estudo:

- 1) Resistência à penetração decresce à medida que o teor de umidade aumenta.
- 2) No teor de umidade mais alto, a densidade do solo teve um efeito mínimo na resistência à penetração. Entretanto, o inverso foi verdadeiro em teores de umidade mais baixos.
- 3) Resistência à penetração foi influenciada pelo tipo de solo.

Resultados de teste de penetração, conduzidos em solos franco argilo-arenosos (textura média) e franco argilosos (textura argilosa), mostraram que a dependência de resistência à penetração, de densidade aparente, foi maior em teores de umidade mais baixos do que em teores de umidade mais altos (Mulqueen et al., 1977). Durante este estudo, uma relação linear entre o pico de índice de cone e densidade aparente foi observada em teores de umidades mais altos. Entretanto, nos teores de umidade mais baixos, a relação mostrou-se ser exponencial. Observações semelhantes foram feitas também por Hayes e Ligon (1977) nos ensaios conduzidos em solos franco argiloso e franco arenoso.

Wells e Tresuvan (1977) investigaram a resistência à penetração num solo franco siltoso, em três densidades aparentes e níveis de umidade variando de 2 a 25 %. Eles também observaram a redução no índice de cone com o aumento do nível de teor de umidade. Este

estudo também mostrou que em solo franco siltoso de densidade aparente constante, o pico de índice de cone ocorreu no teor de umidade de 15%. Para teores de umidade de 15% e maiores, Wells e Tresuvan empregaram a equação de Collins (1971), para prever o índice de cone na densidade aparente constante. Resultados bem próximos foram obtidos entre a predição e os dados experimentais.

APLICAÇÕES DE CONE PENETRÔMETRO

- 1) Predição de tráfego de máquinas em determinado solo e a sua capacidade de suporte.
- 2) Predição do desempenho de tratores para melhor utilização de potência. Neste caso, índice de cone é somente um dos parâmetros da equação de Wismer e Luth (1974).
- 3) Avaliação da compactação do solo.

- 4) Avaliação da resistência do solo ao crescimento radicular e emergência de plantas.

CONCLUSÕES

Penetrômetros são instrumentos simples e de fácil utilização. Dependendo da aplicação, diferentes tipos de penetrômetros são usados. Eles são largamente usados em exploração de terrenos, predição da traficabilidade, dificuldade de penetração do sistema radicular e na avaliação da compactação do solo. Informações de resistência à penetração obtidas usando penetrômetro, tem que ser cuidadosamente interpretadas devido à influência de diferentes fatores, como: tipo de solo, resistência do solo, teor de umidade, taxa de penetração, tamanho e forma, e superfície de acabamento do cone. Mais recentemente, penetrômetros mais modernos tem sido mais utilizados por apresentarem operação mecânica e armazenamento do dado.

Quadro 1. Classificação geral dos tipos de cone penetrômetro

Tipo de penetrômetro	Método de avanço da ponta	Taxa	Comentário
Estático	Com incremento constante de carga	0	Extremamente devagar
Quase-estático	Hidráulico ou mecânico	1-2 cm/s 10 cm ²	Base do Cone 10 cm ² ângulo = 60°
Dinâmico	Impacto por queda de peso	variável	Cone de tamanho diferente, etc.
Quase-estático e dinâmico	Combinação de quase-estático e dinâmico		Usa ponta especial; usar Q-S quando não penetrar
Parafuso	Rotação de cone helicoidal pesado	variável	
Inercial	Queda ou arremesso no solo	variável	Bom para área de difícil acesso

Aspectos microbiológicos do solo

por Segundo Urquiaga¹ e Helvécio de-Polli¹

INTRODUÇÃO

A capacidade produtiva de um solo não depende unicamente da fertilidade (disponibilidade de nutrientes), mas principalmente da interação de uma série de fatores, incluindo o clima e, sem dúvida, a própria planta. Devido a isto, cada vez fica mais claro que o solo deve ser compreendido como um sistema onde seus componentes hídricos, gasosos, minerais e orgânicos devem ser estudados em conjunto. A literatura indica que dos componentes do solo, a fixação orgânica tem sido menos estudada. Maior atenção foi dada à física, à química e à mineralogia do solo. Possivelmente, a crescente degradação de muitos solos agrícolas seja decorrente do inadequado manejo, produto do deficiente conhecimento da fração orgânica do solo, onde se inclui a atividade microbiana.

No solo, a fração biótica constitui apenas 1-2% do total de C, mas não obstante disto, seus efeitos na dinâmica dos nutrientes são talvez mais importantes que os do próprio húmus. De acordo com vários autores (Jenkinson & Ladd, 1981; Roswall & Clark, 1981) os metabólitos derivados da biomassa microbiana são muito ricos em nutrientes, além de serem prontamente assimiláveis pelas plantas.

Na maioria dos solos submetidos a agricultura intensiva, sem adequadas práticas de manejo, tem conduzido ao rápido empobrecimento do solo em húmus, sendo isto muito crítico nos solos dos trópicos

úmidos onde o húmus é um dos principais responsáveis pelas propriedades derivadas da atividade coloidal do solo. Por outro lado, como a reposição de húmus do solo é um processo muito lento e que requer da incorporação de grandes quantidades de resíduos vegetais, atualmente tem-se maior preocupação nos estudos que visam ativar a biomassa microbiana do solo e procurar mantê-la em níveis adequados.

Na biomassa microbiana incluem-se bactérias, algas, fungos, atinomicetos e protozoários em permanente interação, sendo que num mesmo solo a composição é muito variável. Hoje não se tem dúvidas que manejando-se adequadamente a microbiota do solo, pode-se reduzir o efeito daninho de muitas doenças e pragas, como melhorar a nutrição das plantas. No Brasil, exemplo disto constitui a seleção de estirpes eficientes de *Bradyrhizobium japonicum* resistentes a altos níveis de antibióticos de muitos solos, especialmente do Cerrado, e que está permitindo produzir soja em mais de 10 milhões de ha praticamente sem uso de N-fertilizante. Por outro lado, o benefício da introdução de espécies eficientes de fungos micorrízicos (MVA) nas áreas novas plantadas com café, cítricos e outras culturas perenes são também bons exemplos da importância microbiana do solo.

Muitos trabalhos tem sido realizados para a caracterização completa da fração biótica de determinados solos e até acerca da influência de diversos fatores neste componente do solo, mas pouco tem sido feito na procura de parâmetros microbiológicos consistentes, que permitam diferenciar solos com comportamentos diferentes ou sistemas diferentes de manejo do solo. Mas, não obstante isto, é necessário introduzir nas análises do solo determinações

¹ Pesquisadores da EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do solo, Rio de Janeiro, Brasil.

microbianas para avançar na caracterização destes. Dentre estas determinações, as de biomassa-C, biomassa-N e biomassa-P, especialmente a primeira, são de especial significado, é que nos últimos 10 anos tem sido intensamente estudados (Brookes et al., 1982, 1985; Cerri et al., 1982; Guerra et al., 1989; Hedley & Stewart, 1982; Jenkinson & Powison, 1976b; Sampaio et al., 1986; Shen et al., 1984; Tate et al., 1988; Voroney & Paul, 1984; Vance et al., 1987). Em todos estes estudos o clorofórmio foi usado como fumigante devido que seu efeito biocida não afeta a solubilidade da fração abiótica da matéria orgânica do solo (Jenkinson, 1976a).

DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

Na determinação da biomassa-C o método que tem sido mais utilizado é o de fumigação-incubação (Jenkinson & Powison, 1976b). Este método, na realidade, mede o CO_2 evoluído na decomposição dos corpos microbiais mortos pela fumigação com clorofórmio. A suposição básica do método considera que a decomposição da matéria orgânica nativa, tanto no solo fumigado e não fumigado, ocorre na mesma taxa. Este método foi contestado por vários autores (Tate et al., 1988; Sampaio et al., 1986, Voroney & Paul, 1984) e tem sofrido várias modificações. Este método tem também a desvantagem de ser demorado e não ser recomendável para solos que tenham recebido recente incorporação de material vegetal.

Recentemente, tem sido proposta a determinação da biomassa-C através da extração de C do solo com 0,5 M K_2SO_4 , após 24 horas de fumigação com clorofórmio (Tate et al., 1988; Vance et al., 1987). Os resultados obtidos por este método tem tido alta correlação com aqueles obtidos pelo método tradicional. Deve-se mencionar que no desenvolvimento deste método tem participado o Dr. Jenkinson, um dos autores do método original de fumigação-incubação. O novo método tem a vantagem de ser rápido e aplicável, inclusive a solos muito ácidos e ainda que tenham sofrido recente incorporação de material vegetal.

- Marcha analítica para a determinação da biomassa-C microbiana pelo método da fumigação-extração (Tate et al., 1988, adaptado)

Pesa-se 50 g de solo (três amostras fumigadas e três amostras não fumigadas) e ajusta-se a umidade a 80 % da capacidade de campo.

As amostras são fumigadas com CHCl_3 livre de etanol por 24 horas. Em dessecadores, entre os frascos com solo, coloca-se um becker de 50 ml contendo 10 ml de clorofórmio e pérola de vidro. Faz-se vácuo de aproximadamente 25 lb/pol² com uma bomba, o suficiente para que o clorofórmio se vaporize. Mantém-se o dessecador hermeticamente fechado por 24 horas em ambiente escuro, à temperatura de aproximadamente 25°C.

Após a fumigação, é feita a extração do solo com 50 ml de K_2SO_4 0,5M e o pH ajustado na faixa de 6,5-6,8. Agita-se durante 30 minutos a 250 RPM, em aparelho de agitação com movimento circular horizontal.

A determinação do C é feita por dicromatometria sem adição de HgO. Retira-se uma alíquota de 8 ml do extrato, adicionando-se 2 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,066M, 10 ml de H_2SO_4 e 5 ml de H_3PO_4 . A mistura é aquecida por cinco minutos, contando-se a partir do início da condensação. Após o resfriamento, adiciona-se 80 ml de água destilada e 3 gotas de difenilamina 1 % (em meio ácido). O dicromato em excesso é titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,033N padronizado.

As amostras não fumigadas são extraídas no momento em que começa a fumigação.

Faz-se sempre um branco (8 ml de K_2SO_4).

A quantidade de C das amostras fumigadas e não fumigadas são calculadas da seguinte forma:

$$C = \frac{(B-A) \times N \times \text{meqC} \times V_e \times 10^6}{V_a \times P_s}$$

$$C = (\mu\text{g C} \times \text{g}^{-1} \text{ solo})$$

onde: B = branco

A = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na amostra.

N = normalidade do sulfato ferroso amoniacal

meq C = 0,003

Ve = volume do extrato (50 ml)

Va = volume da alíquota (8 ml)

Ps = peso de solo (20 g)

A biomassa-C é dada pela fórmula:

$$\text{Biomassa-C} = \frac{\mu\text{g Cf} - \text{g C}}{\text{Kec}}$$

onde: **Kec** = fator de correção (0,33)

μgCf = quantidade de C no solo fumigado

μgCnf = quantidade de C no solo não fumigado

Este método, embora precise ser mais validado, é hoje um bom ponto de partida a ser considerado na caracterização dos solos.

LITERATURA CITADA

- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:319-329.
- ; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17:837-842.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. & EDUARDO, B. de P. 1982. Decomposição de matéria orgânica marcada com C¹⁴ e formação de biomassa microbiana em solo ácido do município de Piracicaba, SP, Brasil. In: CERRI, C.C.; ATHIE, D. & SODRZEIESKI, D. (eds.). *Anais do Colóquio Regional sobre matéria orgânica do solo*. Piracicaba, outubro 18-22, 1982. CENA/PROMOCET. p.137-140.
- GUERRA, K.G.M.; FONSECA, M.C.C.da; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M.S. 1989. Conteúdo de fósforo na biomassa microbiana de um solo cultivado em *Brachiaria decumbens*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXII, Recife. Resumos... Recife. 1989.
- HEDLEY, M.J. & STEWART, J.W.B. 1982. Method to measure microbial biomass phosphate in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 14:377-385.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N., eds., *SOIL BIOCHEMISTRY*, vol. 5. Dekker, New York. p.415-471.
- & POWLSON, D.S. 1976a. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.*, 8:167-177.
- & POWLSON, D.S. 1976b. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8:209-213.
- ROSWALL, T. & CLARK, F.E. 1981. Terrestrial nitrogen cycles. *Ecological Bulletins* N^o. 33, Stockholm, 714p.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & MAIA, L.C. 1986. Limitações no cálculo da biomassa microbiana determinada pelo método da fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico (C¹⁴). *Rev. Bras. Ci. Solo*, 10:31-35.
- SHEN, S.M.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. 1984. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, 16:437-444.
- TATE, K.R.; ROSS, D.J. & FELTHAM, C.W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biol. Biochem.*, 20:329-335.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19(6):703-707.
- VORONEY, R.P. & PAUL, E.A. 1984. Determination of Kc and Kn in situ for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biol. Biochem.*, 16:9-14.

Cobertura do solo

por Neroli Pedro Cogo¹

RESUMO

O manejo conservacionista das terras agrícolas está associado com a cobertura da superfície do solo por plantas cultivadas e/ou seus resíduos culturais (resteva). Entre os vários benefícios da cobertura do solo, seja ela constituída por plantas (cobertura viva) e/ou seus resíduos (cobertura morta), destaca-se o da redução da erosão (hídrica e eólica). Neste particular, sua ação se faz sentir através da redução da energia cinética dos agentes erosivos (impacto das gotas da chuva, volume e velocidade da enxurrada e velocidade do vento). Estudos de erosão hídrica têm demonstrado que, como fator isolado, a cobertura do solo explica de 60 a 90% a variação das perdas de solo, independente dos outros fatores. A maior eficácia, no caso de culturas anuais em fileiras, se deve à cobertura vegetal morta ("mulch"). Por esta razão, a cobertura vegetal morta tem sido utilizada como um dos parâmetros caracterizadores dos preparos conservacionistas do solo. Na derivação do fator C (cobertura e manejo) para uso na equação universal de predição das perdas de solo por erosão hídrica, é necessário o conhecimento da percentagem de cobertura do solo nos diversos estádios de crescimento da cultura, desde o preparo primário do solo até a colheita. Assim sendo, é de fundamental importância o conhecimento da cobertura do solo nos trabalhos de manejo com vistas à conservação do solo e da água, especialmente quando estão envolvidos diferentes métodos de preparo do solo.

Existem vários métodos de determinação da cobertura do solo, seja da quantidade (massa) de

resíduos culturais ou sua equivalente percentagem de cobertura da superfície, apesar de nenhum deles ser aceito como padrão. De qualquer forma, estes métodos têm sido bastante utilizados e, de uma maneira geral, podem ser considerados bastante satisfatórios em termos de acuracidade e precisão, exceto algumas particularidades. O uso de um determinado método vai depender do objetivo da avaliação da cobertura, variabilidade presente no campo, tempo e material disponível e custo. As vantagens e desvantagens de alguns destes métodos, assim como os procedimentos detalhados para seu uso, estão contidos na literatura pertinente, abaixo relacionada. Qualquer um destes métodos pode ser utilizado em trabalhos de campo, à nível de lavoura ou parcelas experimentais, com muito bons resultados.

LITERATURA CONSULTADA

- Métodos para avaliação da quantidade de massa (kg/ha) de resíduos culturais
- A COMMITTEE REPORT. 1962. A standardized procedure for residue sampling. U.S. Department of Agriculture, Special Report nº.99, 9p.
- DULEY, F.L. 1958. Estimating the amount of crop residue on a field. U.S. Department of Agriculture, Agric. Handb. nº 136, 31p.
- Métodos para avaliação da porcentagem de cobertura do solo
- CAKETT, K.E. 1964. A simple device for measuring canopy cover. Rhod. J. Agric. Res. 2(1)56-57.
- HARTWIG, R.O. & LAFLEN, J.M. 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. J. Soil and Water Cons. 33(2):90-91.
- LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M. & HINTZ, E.A. 1981. Measuring crop residue cover. J. Soil and Water Cons. 36(6):341-343.

¹ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Porto Alegre, RS.

MANNERING, J.V. Estimating surface cover photographically. Agronomy Department, Purdue University, West Lafayette, (Mimeo).

SLONEKER, L.L. & W.C. MOLDENHAUER. 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. J. Soil and Water Cons. 32(5):231-236.

STOCKING, M.A. 1988. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. Editor Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society of America, Ankeny, Iowa. 244p.

DISCUSSÕES GERAIS DOS TRABALHOS EM PLENÁRIO

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA NA PESQUISA EM CONSERVAÇÃO DO SOLO

- Comparação de semivariogramas

Foi discutida a metodologia para a comparação entre semivariogramas obtidos de duas ou mais áreas, locais ou tratamentos de um experimento. Tal comparação é normalmente, apenas visual. Entretanto, é possível medir os desvios entre os mesmos, usando-se técnicas geralmente complexas de regressão e modelagem. Contudo, os modelos gerados por essas técnicas, devem ser validados no campo.

- Quantificação de variabilidade em ensaios de longa duração

O "cultivo em branco" foi a técnica mais discutida para se avaliar a variabilidade de uma área destinada a experimentação. Foi considerado que essa técnica é útil, tanto antes da implantação do ensaio como, no seu encerramento. Sugeriu-se também a possibilidade de utilização periódica dessa prática, durante a execução do ensaio. Entretanto, essa técnica apresenta duas limitações:

- a) A cultura em "cultivo em branco" nem sempre é suficientemente sensível para indicar a variabilidade de um determinado parâmetro do solo (exemplo toxicidade de alumínio).
- b) As condições climáticas, durante o ciclo da cultura em "cultivo em branco", determinam a efetividade da cultura em apontar a variabilidade dos parâmetros de solo em estudo.

Foi sugerido considerar a produtividade da cultura em "cultivo em branco" como uma medida adicional às avaliações de parâmetros do solo que são determinados antes da implantação do ensaio, para quantificar a variabilidade da área experimental.

- Número de amostras

Houve discussões, porém sem consenso. Segundo o Dr. Sidney Rosa Vieira o número de amostras, para qualquer parâmetro a ser determinado, depende da variabilidade desse parâmetro na área experimental e da precisão do método de análise do mesmo.

Nota dos co-editores: pela estatística clássica o número de amostras a ser considerada numa determinada amostragem, depende da:

- a) Precisão do método de amostragem.
- b) Precisão do método de análise.
- c) Variabilidade do parâmetro no campo.
- d) Amplitude de variação entre os tratamentos.
- e) Precisão requerida.

LITERATURA SUGERIDA PELO DR. FERNANDO SELLES.

- CLARK, I. 1971. Regularization of a semi-variogram computers and geosciences. 3:341-346.
- , 1976. Some auxiliary functions for the spherical model of geostatistics. Computers and geosciences. 1:255-263.
- , 1979. Practical geostatistics. Applied publishers Ltd..
- CAMPBELL, G.S. 1985. Soil physics with basic Elsevier science publishers B.V. Amsterdam chapter 1 p.60-72.
- MATHERON, G. 1963. Principles of geostatistics. Econ. Geol. Vol. 58p. 1246-1266.
- , 1971. The theory of regionalized variables and its application. Cahier 5, Centre de morphologie mathematiques de fontaine bleue. 211p.
- RENDU, J.M. An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation. Monograph south african Inst. Min. Metall. 100p. 1978.

RUSSO, D. and BRESLER, E. 1981. Soil hydraulic properties as stochastic processes I. An analysis of field spatial variability. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:682-687.

----- and BRESLER, E. 1982. Soil hydraulic properties as stochastic processes. II. Errors of estimate in a heterogeneous field. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:20-26.

CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

- Frações da matéria orgânica e agregação do solo

Houve discussões sem consenso sobre as frações da matéria orgânica ativas na estabilidade de agregados. O Dr. Carlos Clemente Cerri sugeriu que o humus (fração pesada da matéria orgânica) é o fator mais importante na determinação da estabilidade estrutural do solo, porém as frações leves da matéria orgânica e os restos culturais, em decomposição, também devem ser considerado. Dessa forma o Dr. Carlos Clemente Cerri acredita que o humus como um todo é responsável pela agregação do solo e não apenas uma fração ou frações do mesmo. Foi comentado que resultados de pesquisa, obtidos no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), sugerem que o ácido fúlvico é mais importante do que o ácido húmico na estabilidade de agregados e que, no sul da Argentina, tem sido mostrado que a relação ácido fúlvico: ácido húmico tem correlação com a estabilidade de agregados. O Dr. Carlos Clemente Cerri considera que esses ácidos não existem naturalmente, sendo pois, produzidos no laboratório durante o fracionamento da matéria orgânica, e que há estudos demonstrando não existir correlação entre esses ácidos e a estabilidade de agregados do solo.

- Análise do carbono orgânico

Foi comentado que o método de Walkley-Black, para a determinação do teor de carbono orgânico em amostras de solo, não é uma técnica de grande sensibilidade para a detecção de variações deste elemento no solo. O Dr. Carlos Clemente Cerri sugeriu o emprego do método modificado de Walkley-Black (oxidação parcial), porém mencionou que esta técnica não passa de uma análise de rotina. Para estudos que requerem precisão no teor de matéria orgânica é

necessário o emprego de métodos mais sofisticados e mais precisos.

- Profundidade de amostragem

A amostragem de solo, tradicionalmente realizada na profundidade de 0 a 20 cm, nos sistemas convencionais de preparo de solo, não é adequada para sistemas conservacionistas, em função da redução de incorporação dos resíduos culturais e dos fertilizantes residuais empregados na cultura antecedente.

Nota dos co-editores: a profundidade de amostragem de solo, em sistemas conservacionistas de manejo, necessita de reestudos, não somente para a determinação de carbono orgânico, como também para análises rotineiras de fertilidade.

ESTUDO DE RAÍZES

- Particularidades metodológicas

Foram discutidas as dificuldades operacionais de estudos dessa natureza em função:

- a) Da necessidade de destruição de parte considerável da unidade experimental, com problemas especialmente em estudos de longa duração.
- b) Da limitação do número de amostras por tratamento e sua representatividade.
- c) Do tempo requerido para amostragem e análise, bem como, da exigência de equipamento e de mão-de-obra.

Apesar das dificuldades expostas houve consenso de que é necessário intensificar estudos de raízes como um dos critérios de diferenciação de sistemas de manejo de solo.

- Quantificação de resultados

Foi discutido o modo de expressar a distribuição radicular no perfil de solo, considerando:

- a) Comprimento de raízes.

- b) Massa de raízes.
- c) Densidade de raízes.
- d) Area superficial de raízes.
- e) Volume de solo explorado.

Não se concluiu, de forma consensual, qual método seria o mais apropriado. Salientou-se que certamente há diferenças na relação entre massa e densidade de raízes para plantas de diferentes espécies. Em gramíneas, por exemplo, essa relação é relativamente constante, porém em plantas com raízes pivotantes a relação massa:densidade é muito variável em função da espessura da raiz principal.

- Distribuição radicular e análises físico-químicas do solo

Foi salientado que é importante a realização de análises físicas e químicas em pontos do perfil onde é observado impedimentos ao desenvolvimento radicular das plantas, no intento de se avaliar as causas destas modificações.

- Novas técnicas

Houve comentários sobre o desenvolvimento de metodologias que usam o princípio da tomografia computadorizada e o processamento de imagens, sem maiores detalhamentos.

PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

Foram discutidos diversos aspectos referentes a:

- a) Amostragem de solo em sistemas conservacionistas de manejo de solo (profundidade de amostragem, local de amostragem em relação as linhas de plantio, número de subamostras, periodicidade de amostragem, época de amostragem e calibração destes aspectos em relação a reposta da planta).
- b) Nitrogênio: sua avaliação é rotineiramente realizada através do teor de matéria orgânica do

solo, a qual constitui-se numa forma empírica de avaliação. Por outro lado, a determinação do nitrogênio total não é uma forma adequada, pois também detecta formas de nitrogênio não disponíveis às plantas, e é extremamente variável no tempo.

POROSIDADE, ESTRUTURA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS

- Aspectos metodológicos para avaliar porosidade do solo

Foi sugerido que o problema de continuidade de poros pode ser resolvido pelo uso de corantes, porém a precisão desta avaliação é alcançada por meio de análise micromorfológica.

Houve consenso de que a técnica para a separação da micro e macroporosidade deve ser através da tensão equivalente a uma coluna de 60 cm de água.

Para a quantificação da macro, micro e porosidade total do solo foi sugerida a utilização da técnica da curva característica de retenção de água e o método de intrusão de mercúrio.

- Estrutura

A descrição morfológica da estrutura do solo, diretamente no perfil de solo, constitui-se numa importante técnica para a diferenciação de sistemas de manejo e para a detecção da variabilidade espacial desses aspectos estruturais. Por essa razão foi aconselhado que esse tipo de determinação seja realizada em todos os estudos de manejo de solo.

- Estabilidade de agregados

Houve consenso de que a estabilidade de agregados em água é um parâmetro importante para explicar diferenças entre sistemas de manejo de solo. A metodologia para sua determinação não foi discutida com profundidade, porém o Dr. Pedro Luiz de Freitas sugeriu que é de importância fundamental, paralelamente a análise de estabilidade de agregados,

a determinação do teor de argila dispersa em água. Para tal, foi sugerido o método da pipeta.

- Parâmetros prioritários para avaliação estrutural do solo

Houve um aparente consenso de que a infiltração de água no solo constitui-se numa avaliação indireta da porosidade e da estrutura do solo, e provavelmente seja o parâmetro mais significativo para explicar diferenças entre sistemas de manejo de solo, principalmente quando determinada pelo método de chuva simulada. Provavelmente, além da infiltração de água no solo, os parâmetros mais importantes para explicar diferenças entre sistemas de manejo de solo sejam a porosidade, continuidade de poros, tamanho de agregados e sua estabilidade.

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

- Aspectos metodológicos

Houve consenso de que os resultados de infiltração de água no solo, obtidos através do infiltrômetro de anéis concêntricos, não podem ser comparados com aqueles obtidos por meio de simuladores de chuva. Os simuladores de chuva são ideais para estudos em que as unidades experimentais apresentam diferenças nas condições superficiais do solo, como presença de resíduos vegetais, rugosidade, etc. Para diferenciar os efeitos do manejo de solo nas características e propriedades do perfil de solo o permeâmetro de Guelph constitui-se num equipamento prático e eficiente. Não chegou-se a padronizações de métodos para avaliar a infiltração de água no solo para diferentes tipos de estudo, sugerindo-se, contudo, utilizar os métodos disponíveis, considerando os objetivos do trabalho.

DENSIDADE DO SOLO

- Aspectos metodológicos

Não houve discussão sobre a comparação de métodos de determinação de densidade do solo. Com referência ao método do anel volumétrico levantou-se aspectos relativos a dificuldades de aplicação em

solos secos e compactados. Para ambos os casos foi sugerido o umedecimento do solo prévio a amostragem. Foi sugerido que o método do cone de areia pode ser simplificado substituindo-se a areia por água.

- Conclusão

Não houve consenso sobre a padronização de métodos e sobre a importância do parâmetro, isoladamente, como diferenciador de sistemas de manejo de solo.

RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Foi sugerido que a resistência do solo a penetração seja determinada em experimentos de manejo de solo pois este parâmetro correlaciona-se com o crescimento radicular das plantas. Saliou-se que é esperado diferenças de comportamento à penetração de raízes no solo entre espécies e dentro da mesma espécie.

- Vantagens do uso do penetrômetro de cone

- a) Não deforma o solo no local de amostragem.
- b) Facilita a localização de camadas compactadas.
- c) Mesmo sendo uma medida indireta, auxilia no mapeamento de áreas problemáticas, sendo um método rápido, com facilidade de amostragem e de baixo custo.

- Desvantagens do uso do penetrômetro de cone

- a) Necessita um grande número de pontos de amostragem devido a variabilidade do solo.
- b) Necessita calibração para diferentes teores de umidade e tipos de solo.

ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

A microbiologia do solo esta interrelacionada com a dinâmica da matéria orgânica do solo, o que sugere sua utilização na avaliação da atividade biológica do solo, como um parâmetro diferenciador de sistemas de manejo de solo.

- Aspectos metodológicos

O Dr. Segundo Urguiaga, baseando-se na baixa disponibilidade de pessoal treinado em microbiologia, voltada para o manejo de solo, sugeriu que para iniciar trabalhos nesta área não são necessárias investigações sofisticadas. Exemplo de uma técnica simples para diferenciar a atividade biológica em diferentes sistemas de manejo é a avaliação da velocidade de decomposição de papel filtro enterrado nos diversos tratamentos em estudo.

- Metodologias para avaliação da atividade microbiana

- Taxa de liberação de gas carbônico, realizada a campo ou em laboratório.
- Taxa de decomposição de um substrato, como celulose, agrológico, fosfatos, etc.
- Contagem da população microbiana em meios de culturas específicos.
- Avaliação da eficiência de fixação simbiótica do N pelo rizóbio em leguminosas.

COBERTURA DO SOLO

- Avaliação da massa de cobertura do solo

Muito embora existem muitos métodos para a avaliação da massa de cobertura do solo. Foi discutido que o método convencional consiste de colheita, pesagem, lavagem e repesagem, basicamente seguindo a metodologia descrita por Duley (1958). Foi recomendada a utilização de um quadro com área de 1 a 2 m² para a coleta do material na superfície do solo. O número de amostras da variabilidade da cobertura do solo pelos resíduos, porém em geral, sugere-se 8 a 10 amostras para uma área de lavoura e de no mínimo três amostras por unidade experimental em ensaios. A amostragem em áreas com filas indistintas de plantas (plantio a lanço), deve ser realizada ao acaso, e em áreas com filas de plantas definidas (plantio em linha), deve abranger uma largura igual ou múltipla do espaçamento entre as linhas de plantio e ser ajustada para nunca estar orientada obliquamente ao sentido das filas.

Em estudos de erosão o material amostrado deve incluir resíduos incorporados até 5 cm de profundidade.

- Avaliação da percentagem de cobertura do solo

Foram discutidos três métodos básicos para a determinação do percentual de cobertura do solo: o método fotográfico, o método do transecto e o método do "meterstick". O método do transecto foi o mais indicado, em função do tamanho da amostragem, o qual integra a variabilidade espacial da cobertura do solo na unidade experimental. Foi sugerido, como tema de pesquisa em metodologia de avaliação da cobertura do solo, testar os três métodos discutidos. Para os métodos fotográfico e "meterstick" se recomenda um mínimo de 10 amostragens por unidade experimental, enquanto que para o método do transecto cinco são suficientes.

Para o método fotográfico é necessário ajustar uma armação cuja largura seja igual, ou múltipla, ao espaçamento entre as linhas de plantio e uma relação entre os lados de 1:1,5, atendendo com isso as dimensões da fotografia de 35 mm.

- Relação entre massa e percentagem de cobertura do solo

Foram apresentados resultados de pesquisas que demonstram pouca diferença na relação entre massa e percentagem de cobertura para as culturas de trigo, milho e soja. As equações que expressam esta relação são:

Trigo	→	$CS = 100(1 - e^{-0,000326MR})$
Milho	→	$CS = 100(1 - e^{-0,000313MR})$
Soja	→	$CS = 100(1 - e^{-0,000252MR})$

onde: CS = cobertura do solo em percentagem;
CR = massa de resíduos em kg/ha.

Observação: tanto na avaliação da massa como no percentual de cobertura do solo as plantas invasoras devem ser consideradas.

**BIBLIOGRAFIAS SUGERIDAS PELO
DR. NEROLI PEDRO COGO**

- Quantidade de resíduos

DULEY, F.L. 1958. Estimating the amount of crop residues on a field. USDA-ARS. Agriculture Handbook nº 136.

WHITFIELD, C.J.; BOND, J.J.; BURNETT, E.; CHEPIL, W.S.; GREB, B.W.; McCALLA, T.M.; ROBINS, J.S.; SIDDOWNAY, F.H.; SMITH, M. & WOODRUFF, H.P. 1962. A standardized procedure for residue sampling. USDA-ARS. Special Publication nº 99.

- Percentagem de cobertura do solo

HARTWING, R.O. & LAFLÉN, J.M. 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, March-April, 1978, vol. 33, nº 2.

SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. Journal of Soil and Water Conservation, September-October, 1977. vol. 32, nº 5.

LAFLÉN, J.M.; ALMEIDA, M. & HINTZ, E.A. 1981. Measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, November-December, vol. 36, nº 6.

CAKETT, K.E. 1964. A simple device for measuring canopy cover. Rhod. J. Agric. Res. 2(1964).

- Redução dos resíduos pelo preparo

COLVIN, T.S.; LAFLÉN, J.M. & ERBACH, D.C. 1980. A review of residue reduction by individual tillage implements. In: Crop Production with Conservation in the 80's. Am.

Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Michigan. ASAE Publication 7-81.

**PERMEABILIDADE DO SOLO, BALANÇO HÍDRICO
E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA**

Foi enfatizado pelo Dr. Elias de Freitas Junior que quando se faz menção a condutividade hidráulica é indispensável citar a técnica empregada para a determinação, se em condições de saturação ou não.

- Permeômetro de Guelph

Discutiu-se as características do permeômetro de Guelph e sua praticidade para a determinação a campo da condutividade hidráulica não saturada do solo. Esse equipamento é extremamente prático para esse tipo de determinação, tendo como vantagens sobre outros métodos:

- a) Relativa facilidade operacional.
- b) Facilidades para a determinação da condutividade hidráulica a diferentes profundidades.

Com esse equipamento pode-se determinar a condutividade hidráulica em aproximadamente 25 pontos por dia, com um consumo de apenas 40 litros de água, o que demonstra a praticidade de uso do equipamento. O único problema mencionado é o custo do equipamento, estimado em aproximadamente US\$ 1.500 contudo sua reprodução com materiais disponíveis no mercado, não é descartada.

Uma análise conclusiva das discussões

por Patrick C. Wall¹

A meta do pesquisador agrícola é de incrementar a produtividade das culturas ou de elevar a eficiência dos insumos aplicados à elas. Isso é importante, não somente a curto prazo, mas também a longo prazo: é necessário assegurar que o ambiente das culturas não se degrade.

No sistema produtivo, há uma interrelação entre os fatores solo, planta e ambiente aéreo, porém na presente reunião o debate concentrou-se em apenas um deles: o solo. Apesar disso, há a necessidade de lembrar que não são os parâmetros do solo em si que interessam no sistema produtivo, mas sim como eles afetam a produtividade das culturas ou o desenvolvimento das plantas. No momento em que passa-se a considerar o estudo do solo como o fim em si, está-se correndo o risco de perder a aplicabilidade agrônômica da pesquisa.

Há inúmeras propriedades e características do solo que podem ser avaliadas, sendo que todas assumem importância em determinadas situações. Na maioria dos programas de pesquisa de manejo de solo e de culturas nem sempre é possível avaliar todos os parâmetros do solo, em todos os tratamentos: é necessário optar por uns e desconsiderar outros. Porém, como tomar essa decisão? É necessário eleger prioridades. Isso foi, basicamente, o tema discutido nesta reunião, restando ainda, por certo, um longo caminho para ser percorrido até que se tome uma decisão.

Para iniciar esse processo de decisão parece que é necessário definir qual é ou quais são os fatores mais limitantes à produtividade das culturas e concentrar-se neles: por definição (por serem os mais limitantes) as alterações desses fatores têm maior probabilidade de afetar as culturas do que as alterações em outros fatores que não estão limitando a produtividade. Em um campo ou em uma parcela experimental os fatores mais limitantes não são estanques: assim, ao pretender-se alterar os fatores mais limitantes, substancialmente, através do manejo do solo, outros fatores virão a ser os mais limitantes às culturas.

O solo deve proporcionar três das necessidades essenciais das plantas: água, nutrientes e um meio apto ao desenvolvimento do sistema radicular. Essas três funções do solo são interdependentes, mas dependem das características e das propriedades físicas e químicas do solo, as quais procura-se otimizar mediante o manejo do solo, de cultivares e de insumos. As vezes, há possibilidades de se manejar o efeito do clima sobre o solo, alterando, especialmente, a sua temperatura e a sua umidade, almejando-se com isto manter as condições ótimas para a interrelação da planta com o solo.

Para cada situação parece útil iniciar decidindo qual das três necessidades da planta é a mais limitante: a água, os nutrientes ou o meio para o desenvolvimento radicular. Decidido isso, há que se definir qual é ou quais são os parâmetros do solo que estão causando esta limitação. Obviamente, é difícil identificar esse parâmetro, visto que as três necessidades da planta são interrelacionadas e um mesmo parâmetro do solo pode estar afetando-as concomitantemente. Por exemplo: a porosidade do solo afeta a infiltração e o armazenamento de água e estes afetam o desenvolvimento radicular da planta, o qual, por sua

¹ Representante Regional - Agronomia, CIMMYT, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

vez, influi na nutrição da mesma. Há métodos globais que podem ser usados para determinar qual das três necessidades da planta é a mais limitante: o balanço hídrico, o potencial de água no tecido ou a temperatura da cultura são utilizados para avaliar as limitações de água; a análise química de tecido é utilizada para avaliar as limitações nutricionais; e a análise de distribuição do sistema radicular é empregada para avaliar as limitações de enraizamento.

Uma vez decidido quais são os parâmetros mais limitantes, há que se definir a metodologia para quantificá-los. Para muitos parâmetros do solo que afetam as plantas, há métodos diretos e indiretos para sua avaliação. Grande parte das discussões estabelecidas durante a reunião concentraram-se nesse aspecto. Em geral, os métodos diretos são mais confiáveis, porém mais trabalhosos, assim muitas vezes opta-se pelos métodos indiretos. Em qualquer medida indireta procura-se sempre imitar ou simular a planta e correlacionar os resultados com o seu desenvolvimento. Dependendo do parâmetro que se está avaliando, obtem-se maior ou menor êxito. Por exemplo: uma análise química de solo para avaliar o fósforo disponível utiliza uma determinada solução que extrai uma certa quantidade de fósforo do solo. A quantidade de fósforo que a planta consegue extrair da solução do solo pode ser muito diferente da quantidade

extraída pelo extrator na análise, porém se existir uma boa relação entre as duas quantidades, a análise torna-se útil. Consequentemente, sempre tem que haver cautela no uso de análises indiretas, visto que pode-se passar despercebido por problemas do solo, simplesmente porque o método não o demonstra.

Em geral há vários métodos que podem ser empregados para determinar um parâmetro, variando desde métodos de baixo custo, e muitas vezes subjetivos, até métodos onerosos, e mais objetivos. O método que deve ser usado depende da situação do programa, porém sempre deve-se dar preferência para a metodologia mais objetiva possível. Apesar disso, uma preocupação surgida nesta reunião é relativa a carência de estudos comparativos entre diferentes metodologias para medir um mesmo parâmetro.

Em resumo, sugere-se que como em qualquer ramo da ciência, concentrar-se sobre o fator mais limitante incrementa a eficiência da pesquisa, sendo mais importante decidir o que avaliar do que a metodologia a ser empregada. Entretanto, se é possível definir metodologias comuns entre pesquisadores, em diferentes locais, trabalhando sob condições de solo e ambiente distintos, isto incrementar as possibilidades para o entendimento dos processos e para a aplicabilidade dos resultados obtidos.

Lista de Participantes

ARGENTINA

Bodrero, Marcelo
EEA Oliveros
CC 4 Oliveros, Santa Fe

Panigatti, José Luis
EE Rafaela
CC 22 Rafaela, Santa Fe

BOLIVIA

Barber, Richard
MBAT/CIAT
Casilla 359, Santa Cruz

Pascuali Cabrera, Jorge
IBTEN
6 de Agosto 2905
4821 La Paz

Navanno, Felipe
CIAT
Casilla 359, Santa Cruz

BRASIL

Ambrosi, Ivo
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Cattelan, Alexandre José
CNPSo/EMBRAPA
Caixa Postal 1061
86001-970 Londrina, PR

Balbino, Luiz Carlos
OCEPAR
BR 467 - Km 19
85809-630 Cascavel, PR

Cerri, Carlos Clemente
C.E.N.A./USP
Av. Centenário 303
13416-000 Piracicaba, SP

Ben, José Renato
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Cogo, Neroli Pedro
UFRGS
Caixa Postal 776
91540-000 Porto Alegre, RS

Blancaneaux, Philippe
SNLCS/EMBRAPA
Caixa Postal 10125
74001-970 Goiânia, GO

Cruz, José Carlos
CNPMS/EMBRAPA
Caixa Postal 151
35701-970 Sete Lagoas, MG

Boller, Walter
UPF
Caixa Postal 567
99100-970 Passo Fundo, RS

De Carvalho, Sylvio Romero
SNLCS/EMBRAPA
Rua Jardim Botânico 1024
22460 Rio de Janeiro, RJ

Borges, Elías Nascentes
Univ. Federal de Uberlândia
Av. Pará 1720 Bloco 4C - Umuarama
38400 Uberlândia, MG

Dechen, Sonia Carmela Falci
Instituto Agronômico
Av. Barão de Itapura 1481
13020 Campinas, SP

De Freitas Jr, Elias
CPAC/EMBRAPA
AOS 4-C - 117
70651 Brasilia, DF

De Freitas, Pedro Luiz
EMBRAPA
Rua 9, 504/302 S Oeste
74320, Goiânia, GO

De Mesquita, Ailton Nonemacher
Denardin, Jose Eloir
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

De Oliveira, Edson Feliciano
OCEPAR
BR 467, Km 19
85809-630 Cascavel, PR

Faganello, Antonio
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Figueiredo, Jose Edson Fontes
CNPMS/EMBRAPA
Caixa Postal 151
35700 Sete Lagoas, MG

Folle, Sergio Mauro
CPAC/EMBRAPA
Caixa Postal 70/0023
73301 Planaltina, DF

Fontaneli, Renato Serena
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Londrina, PR

Guimarães, Maria de Fatima
Univ. Estadual de Londrina
Caixa Postal 6001 - CCA - Depto. de
Agronomia
86051-970 Londrina, RS

Hernani, Luiz Carlos
UEPAE Dourados/EMBRAPA
Rua Ipiranga 2095
79826-220 Dourados, RS

Ignaczak, João Carlos
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Klein, Vilson Antonio
FUNDACEP - FECOTRIGO
Caixa Postal 10
98100-970 Cruz Alta, RS

Kochhann, Rainaldo A.
Lorini, Irineu
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Mantovani, Evandro Chartuni
CNPMS/EMBRAPA
Caixa Postal 152
35701-970 Sete Lagoas, MG

Medeiros, Milton Costa
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Merten, Gustavo H.
IAPAR
Caixa Postal 129
84001-970 Ponta Grossa, PR

Pauletto, Eloy Antonio
UFPel
Rua Senador Mendonça 291/301
96015-200 Pelotas, RS

Pereira, Luiz Ricardo
Pöttker, Delmar
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo RS

Reinert, Dalvan Jose
Righes, Afranio Almir
UFSM
Cidade Universitária
97119-900 Santa Maria, RS

Salet, Roberto Luiz
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Saraiva, Odilon Ferreira
CNPSo/EMBRAPA
Caixa Postal 1061
86001-970 Londrina, PR

Tomasini, Roque G. Annes
CNPT/EMBRAPA
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Urquiaga, Segundo
 CNPBS/EMBRAPA
 Km 47, Ant. Rod. Rio - São Paulo
 23851 Itaguai, RJ

Vieira, Sidney Rosa
 Instituto Agronômico
 Av. Barão de Itapura 1481
 13020 Campinas, SP

Vaz, Carlos Manoel Pedro
 NPDIA/EMBRAPA
 Rua XV de Novembro 1452
 13561-160 São Carlos, SP

Wietholter, Sirio
 CNPT/EMBRAPA
 Caixa Postal 569
 99001-970 Passo Fundo, RS

Velloso, José Alberto R. Oliveira
 CNPT/EMBRAPA
 Caixa Postal 569
 99001-970 Passo Fundo, RS

CANADA

Selles, Fernando
 AG Canadá
 Box 1030
 594-3X2 Swift Current
 Saskatchewan

CHILE

Letelier, Elías
 EE La Platina/INIA
 Casilla 439 Correo 3
 Santiago

Sierra Bernal, Carlos
 EE Remehue/INIA
 Fresia 1566
 Osorno

PARAGUAY

Cáceres Sánchez, Héctor Daniel
 IAN/MAG
 Ruta II, Km 48,5
 Caacupé

Wall, Patrick
 CIMMYT
 (Actualmente en
 Casilla 2305, Santa Cruz
 Bolivia)

URUGUAY

Deluchi, María Inés
 ENYA
 Avda. Italia S/N
 Montevideo

Morón, Alejandro
Sawchik, Jorcir
 INIA La Estanzuela
 Casilla de Correo 39173
 Colonia

Nota del Editor

En un esfuerzo conjunto con los técnicos del Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT) de EMBRAPA Dr. José Denardin e Ings. Agrs. R.A. Kochhann y D. R. Motter y el Dr. Patrick Wall del CIMMYT, ofrecemos esta nueva entrega de la Serie DIALOGO, incursionando en las metodologías que posibilitan la investigación en el manejo de suelos.

Los diversos trabajos que integran esta publicación incluyen el análisis de los distintos parámetros físicos del suelo, la metodología para cuantificarlos y así poder delinear sistemas conservacionistas de manejo del suelo.

También los interesados en el tema pueden encontrar en este DIALOGO XXXIX el intercambio de opiniones entre los participantes de la reunión, que permite esbozar cuales son las metodologías más apropiadas para encarar a nivel regional la investigación en el manejo del recurso suelo.

Si bien el encuentro que dio origen a esta publicación se inscribió en las actividades del Proyecto Trigo, su contenido tiene hoy real vigencia cuando PROCISUR tiene en ejecución el Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola, en el cual la temática abordada en esta publicación es relevante.

Este DIALOGO no pretende un abordaje exhaustivo del tema, sino constituirse en un aporte del PROCISUR para la profundización de toda la problemática relativa al factor suelo y a la obtención de una armonización de metodologías, a nivel regional, que posibiliten un uso más racional del suelo, preservando los recursos naturales y apuntando al logro de una agricultura sustentable.

Dr. Juan P. Puignau
Especialista en Comunicación

Esta publicación constituye el número XXXIX de la Serie DIALOGO del PROCISUR, tiene un tiraje de 500 ejemplares y se terminó de imprimir en la ciudad de Montevideo, Uruguay, en el mes de abril de 1994.

Diagramación y armado: Sergraf S.R.L.

Impresión, encuadernación y portadas: Impresora S & D S.R.L.

Comisión del Papel. Edición amparada al Artículo 79 de la Ley 13.349.

Depósito Legal Nº 290.342



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Andes 1365, P. 8 - Tel. 92 04 24 - Fax (00598) 2 92 13 18 - Casilla de Correo 1217 - Telex IICA UY 22571
Montevideo - Uruguay