

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE UM PLANOSOLO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO VACACAÍ, RS.

Physical, Chemical and Microbiological Characterization of a Planosol Mapping Unit of Vacacaí, RS.

Afranio Almir Righes*, Thomé Lovato** e Enio Soares**

RESUMO

Foi estudado um perfil de solo pertencente a Unidade de Mapeamento Vacacaí, classificado como Planosolo. As amostras de solo com estrutura não deformada, foram coletadas utilizando-se o Cilindro de Uhland e o Anel de Kopecky.

Dados físicos relacionados ao potencial matriz de água no solo, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo determinada por três métodos, porosidade do solo através de todo o perfil foram determinados. Determinações químicas básicas para fertilidade do solo e população de microrganismos nitrificadores e *Azotobacter*, foram realizadas.

Os resultados evidenciaram que 105 cm é a profundidade máxima para a abertura de drenos com efetiva ação de drenagem; o perfil de solo estudado apresenta baixo nível de fertilidade e o pH é um fator limitante para o desenvolvimento de culturas de sequeiro sem aplicação de calcário. Não foram encontrados números significantes de *Azotobacter* e microrganismos nitrificadores do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*.

SUMMARY

A soil profile belonging to the mapping unit "Vacacaí", RS, classified as a Planosol was studied. Soil samples with undisturbed soil structure were taken using a Uhland Cylinder and Kopeck ring.

Physical data related to soil matric potential, saturated hydraulic conductivity, bulk density determined by three methods and soil porosity throughout the soil profile was measured. Basic soil chemical data related to soil fertility and population of nitrifying microorganisms and *Azotobacter* were determined.

The data shows that the maximum depth for a drain to be effective is 105 cm; the soil profile presents a low level of fertility and the pH is a limiting factor for a dry-land crops without lime. There was no significant numbers of *Azotobacter* and Nitrifying bacteria *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* groups.

* Engenheiro Agrônomo, Ph. D., Professor do Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 97100 - Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

** Engenheiros Agrônomos, ex-alunos do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul possui 1.634.000 ha de solos de várzeas pertencentes à Unidade de Mapeamento Vacacaí, representando 6,06% da área do Estado. Pelo atual uso dessas áreas dois terços ficam anualmente em pousio, não sendo racionalmente exploradas.

Estas áreas, cujas características para mecanização e irrigação são as melhores do Estado, por apresentarem uma infra-estrutura hidráulica como canais, estações de recalques e outras, as quais reduziriam os custos de uma irrigação complementar em períodos de deficiência hídrica, são próprias para o cultivo de culturas de sequeiro irrigadas.

Os programas atuais do governo, nas áreas de irrigação e drenagem, incentivam a utilização mais racional dos fatores de produção solo e água, principalmente em regiões onde a fronteira agrícola encontra-se praticamente esgotada, como é o caso do Rio Grande do Sul. Dentre esses programas, destaca-se o PROVÁRZEAS, que visa a utilização das várzeas drenáveis, ineficientemente exploradas até então, com culturas de sequeiro, tais como milho, soja, feijão e pastagens cultivadas em rotação com a cultura do arroz irrigado, resultando em consequência uma maior produtividade para essas culturas. Com isso, torna-se necessário o desenvolvimento de projetos de irrigação e de drenagem, o que está diretamente dependente do conhecimento das condições físico-hídricas do solo, bem como das condições químicas e biológicas para um eficiente manejo do sistema solo-água-planta-atmosfera, visando uma exploração agrícola equilibrada com o menor dano possível ao ambiente.

Considerando a obtenção de danos básicos das relações físico-hídricas, químicas e biológicas de um solo como elementos indispensáveis ao desenvolvimento de projetos ligados à utilização de várzeas com culturas de sequeiro, o presente trabalho teve por objetivos:

1. Caracterizar fisicamente o perfil e determinar o espaço aéreo existente no solo quando em capacidade de campo.
2. Determinar a condutividade hidráulica saturada "Ko" nas diferentes camadas do perfil.
3. Determinar a curva de desorção ou curva característica de água no solo.
4. Localizar a camada impermeável para fins de determinar a profundidade máxima dos drenos.
5. Determinar os teores de matéria orgânica, fósforo, potássio e o pH do solo nas diferentes camadas do perfil.
6. Determinar a população de microorganismos nitrificadores e *Azotobacter* nas diferentes camadas do perfil.

REVISÃO DA LITERATURA

1. Densidade do solo (aparente ou global):

A densidade do solo pode ser considerada uma medida da compactação do solo. Quanto mais compactado um solo, maior quantidade de matéria sólida terá por unidade de volume total e, portanto, maior a densidade do solo. O cálculo da densidade do solo pode ser feito pela seguinte fórmula:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t}, \text{ onde:}$$

D_s = Densidade do solo (g/cm^3)

M_s = Massa do solo seco (g)

V_t = Volume total da amostra (cm^3)

Solos arenosos possuem geralmente densidade do solo mais elevada ($1,5-2,0 \text{ g/cm}^3$) e sua variação não é muito grande devido à maior dificuldade em serem compactados e descompactados. Solos argilosos, pelo fato de poderem ser compactados com maior facilidade apresentam uma variação maior da densidade do solo ($1,0-1,8 \text{ g/cm}^3$), mas geralmente com valores menores que para um solo arenoso.

Em condições de campo a densidade do solo pode variar bastante com a profundidade e de local para local. Esta variabilidade depende do tipo de solo e das condições particulares de sua formação. Na camada arável essas propriedades variam mais ainda (REICHARDT, 23).

2. Fluxo da água no solo:

A equação que descreve o fluxo da água através de um meio poroso foi empiricamente formulada em 1856 pelo engenheiro hidráulico DARCY. Segundo KIRKHAM & POWERS (12), a lei de Darcy pode ser formulada:

$$Q = -K \cdot A \cdot (h_2 - h_1/z_2 - z_1), \text{ onde:}$$

Q = Fluxo de água (cm^3/s)

K = Condutividade hidráulica (cm/s)

$h_2 - h_1$ = Carga hidráulica (cm)

$z_2 - z_1$ = Comprimento da amostra (cm)

A = Área da secção transversal da amostra (cm^2)

3. Condutividade hidráulica:

Ela é propriedade do solo que descreve sua capacidade em transmitir água.

Em um dado solo é função da umidade e devido a isto é apresentada na forma $K(Q)$, onde Q é a umidade do solo em cm^3 de água $\times \text{cm}^{-3}$ de solo. É tanto maior quanto mais úmido estiver o solo, sendo seu valor máximo quando o solo está saturado. Neste caso ela é indicada por "Ko" e é denominada condutividade hidráulica saturada. O valor de K decresce bruscamente com a diminuição de Q no solo (REICHARDT, 23).

Segundo HILLEL (11), o valor de "Ko" oscila entre 360 e 36 cm/h em um solo arenoso e entre 0,36 e 0,0036 cm/h em um solo argiloso. A condutividade hidráulica é, naturalmente, afetada tanto pela textura quanto pela estrutura, sendo maior em solos com grande volume de poros e abundância de aglomerados do que

em solos compactados.

A determinação desse parâmetro hídrico pode ser realizada através de medidas diretas e indiretas, sendo as medidas diretas em condições de campo ou laboratório usando-se amostra com estrutura não deformada e as medidas indiretas, segundo MILLAR (17), pela distribuição do tamanho dos poros.

O método comumente usado em laboratório é o do permeâmetro de carga constante, podendo-se ainda usar o permeâmetro de carga variável, cujos procedimentos para determinação são apresentados e discutidos por KLUTE (13).

4. Estado energético da água no solo:

A energia da água no solo é, provavelmente, a mais importante característica física do sistema solo-água. Se dois estados de equilíbrio são considerados o trabalho necessário para movimentar a água de um estado para outro é a medida da energia potencial requerida pelo processo do fluxo de água. Segundo NIELSEN (19), o potencial é a energia por unidade quantitativa de substância em consideração e o seu sinal depende do nível de referência considerado. Assim o cálculo do potencial de água no solo é realizado pela fórmula:

$$\psi_s = \psi_m + \psi_g + \psi_o + \psi_p, \text{ onde:}$$

ψ_s = Potencial de água no solo

ψ_m = Potencial matriz

ψ_g = Potencial gravitacional

ψ_o = Potencial osmótico

ψ_p = Potencial de pressão

O potencial que tem maior importância nas relações solo-água-planta é o potencial matriz, seguido do potencial osmótico. Outros potenciais podem ser envolvidos no processo de absorção de água pelas plantas, mas seus valores são pequenos quando comparados com os valores dos potenciais matriz e osmótico.

5. Curva de desorção ou curva característica de água no solo:

A curva de desorção é sensivelmente afetada pela textura do solo. Quanto maior o teor de argila, tanto maior será, em geral, o conteúdo de água sob dado potencial e tanto mais suave a inclinação da curva. Em um solo arenoso, a maioria dos poros apresentam tamanho relativamente grande, e, uma vez esvaziados a um determinado potencial, restará apenas pequena quantidade de água.

Segundo HILLEL (11), em um solo argiloso, é muito mais uniforme a distribuição dos poros no concernente ao tamanho, o que determina a adsorção de maior quantidade de água, motivo pela qual é mais gradual o decréscimo do teor de água motivado pela diminuição do potencial de água no solo.

A forma da curva de desorção é, também, afetada pela estrutura do solo.

Quanto mais compactado, tanto menor será a porosidade total e, especialmente tanto menor será o conjunto de poros existentes entre os aglomerados. Isto significa que o teor de água de saturação bem como a redução inicial do conteúdo de água como consequência da aplicação de sucção ficam diminuídos. De outra par-

te é maior o volume dos poros de tamanhos intermediários em solos compactados (uma vez que certo número de poros originalmente grandes podem ter sido comprimidos e reduzidos em tamanho pela compactação), ao passo que os poros internos (microporos) nos aglomerados permanecem inatingidos, sendo esta a explicação para o fato de poderem apresentar os solos compactados e não compactados curvas quase idênticas sob condições de baixos valores de potencial de água no solo (-15 bars).

FORSYTHE et alii (10), afirmam que dentro da mesma classificação de textura existem solos que se comportam de forma diferente com respeito a sua habilidade de reter água, e a sua aeração dentro dos limites de umidade necessários para o crescimento das plantas. Isso demonstra que não basta conhecer somente a textura do solo para determinar o comportamento do complexo água-solo-ar e se evidencia assim a necessidade de conhecer a curva completa de retenção de água para cada solo.

Tendo em vista as respostas características de cada espécie e vários potenciais limitantes com seu rendimento, se observa que, na prática, o ponto de murcha tem pouca aplicação como limite hídrico inferior de um solo. Deve-se conhecer toda a curva de desorção para poder interpretar as características do armazenamento de água do solo em relação aos requisitos de um dado cultivo. Também se nota que a prática de expressar o estado da água no solo em termos de percentagem de água aproveitável (usando o ponto de murcha como limite inferior) é muito arbitrária, porque as curvas de desorção indicam que uma percentagem dada de água aproveitável pode significar uma lâmina de água que tem lâminas de diferentes potenciais, segundo a curva de desorção considerada.

6. Aspectos químicos:

De acordo com BRADY (4) é evidente a determinação do pH como instrumento para execução de calagem e outros problemas afins. Realmente, o pH é um diagnóstico de valor inestimável e sua determinação se transformou numa das provas de rotina executadas nos solos.

Em solos de várzeas, quando drenados ocorre diminuição do pH acompanhada da reação de oxidação. Na medida em que novamente esses solos são alagados o pH torna a aumentar, ocorrendo juntamente redução da solução do solo.

A falta de fósforo no solo ou na adubação se reflete em primeiro lugar na diminuição das colheitas. Quando as reservas diminuem ainda mais, não sendo refeitas através do uso de fertilizantes fosfatados, a planta começa a apresentar sintomas de deficiência. Isto é verdadeiro no caso das culturas de ciclo rápido; nas perenes não são comuns nem a resposta à adubação nem o aparecimento desses sintomas.

O potássio é um dos macronutrientes exigidos pelas culturas em maior proporção. As necessidades desse elemento são muito maiores que as de fósforo, sendo da mesma ordem de grandeza que as exigências de nitrogênio, quando se considera as quantidades dos três elementos contidos na planta.

MALAVOLTA (15), afirma que a matéria orgânica do solo é em geral uma boa

fonte de nutrientes para as plantas, melhorando a estrutura do solo ao estimular o agrupamento das partículas que o compõem. Os materiais orgânicos cuja humificação tenha sido completa aumentam a coesão dos solos arenosos cimentando, por assim dizer, as suas partículas; por outro lado, torna mais "leves" os solos de textura argilosa. A boa estrutura do solo e a matéria orgânica em si aumentam a capacidade de retenção de água do solo, ajudam a manter a água útil para as plantas e aumentam a aeração do terreno.

7. Microrganismos nitrificadores e *Azotobacter*:

O desenvolvimento desses microrganismos no solo depende das condições físico-químicas presentes na profundidade considerada.

Segundo BRADY (4), as bactérias nitrificadoras necessitam de oxigênio para realizarem o processo de nitrificação, sendo este elemento também muito importante para que as bactérias do gênero *Azotobacter* fixem o nitrogênio.

TAYLOR (28), estudando a difusão do oxigênio relacionada com a porosidade do solo, encontrou relações diretas entre o espaço aéreo de um solo e a difusividade de oxigênio. Quanto menor o espaço aéreo do solo, menor será a difusão de gases no seu interior. WESSELING & VAN WIJK (31) determinaram que quando o espaço aéreo for menor que 10% deixará de existir o processo de difusão. Em solos de várzea tais condições poderão ocorrer mais frequentemente e com isso alterar a população de microrganismos.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Local e período de realização:

O presente trabalho foi realizado em condições de campo e nos Laboratórios de Hidráulica Agrícola, Física do Solo, Análises Químicas do solo e Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, no período de dezembro de 1981 a abril de 1982.

2. Solo:

As determinações foram realizadas em solo da unidade de mapeamento Vaccaí, classificado como um PLANOSOL, relevo plano e suavemente ondulado, tendo como substrato sedimentos aluviais recentes, principalmente arenitos e siltitos.

Predominam nesta unidade solos mal a imperfeitamente drenados, bastante influenciados pela presença de água, condicionada pelo relevo, o que ocasiona fenômenos de redução, com o desenvolvimento no perfil de cores cinzentas, características de gleização.

Além destas cores apresentam mosqueados de várias tonalidades, principalmente nos horizontes inferiores onde a presença de água é mais marcante.

Os solos desta unidade de mapeamento situam-se nas várzeas ao longo de rios e arroios. Ocorrem em quase todos os rios da Depressão Central e em alguns da Serra do Sudeste e Campanha do Estado do Rio Grande do Sul.

São solos fortemente ácidos, com pH em torno de 5,0, possuindo baixos te-

ores de fósforo disponível e matéria orgânica.

A vegetação predominante é a de campo, muitas vezes modificada, pois a maioria desses solos são intensamente cultivados com arroz irrigado.

A temperatura média anual varia de 18,2 a 19,6°C e a precipitação média anual varia de 1.322 a 1.769 mm. Podem ocorrer chuvas torrenciais de 182 mm em 24 horas e geadas de abril a novembro (BRASIL, 3).

3. Análise estatística:

As diferenças nas determinações físico-hídricas entre as diferentes camadas do perfil, foram analisadas pela análise da variância em delineamento inteiramente casualizado. As diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey.

4. Determinações:

4.1. Determinações físico-hídricas:

A caracterização físico-hídrica do perfil foi realizada em camadas de 15 cm, a partir da superfície do solo até 120 cm de profundidade.

Na parte média de cada camada de solo foram coletadas amostras com estrutura não deformada para determinações de densidade do solo, microporosidade, condutividade hidráulica saturada "Ko" e curva de desorção e amostras com estrutura deformada para determinações de análise granulométrica e densidade de partícula.

Todas as análises foram realizadas com quatro repetições.

a) Condutividade hidráulica saturada "Ko"

Foi usado o método do permeâmetro de carga constante segundo KIRKHAM & POWERS (12), construído conforme a Figura 1.

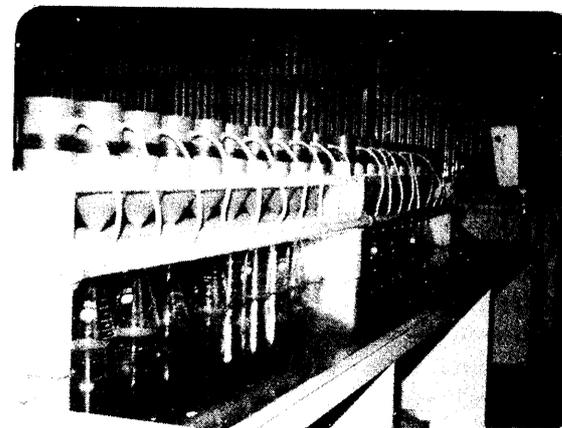


FIGURA 1. Permeâmetro de carga constante para determinação da condutividade hidráulica saturada "Ko" em laboratório.

b) Camada impermeável do solo

Tendo como base os resultados de condutividade hidráulica saturada em cada camada do perfil, considerou-se como camada impermeável quando a condutividade hidráulica foi menor do que 0,0036 cm/h (HILLEL, 11).

c) Curva de desorção da água no solo

Usando-se amostras com estrutura não deformada, esta determinação foi realizada na mesa de tensão (Figura 2) e no aparelho de placas porosas de RICHARDS (24).

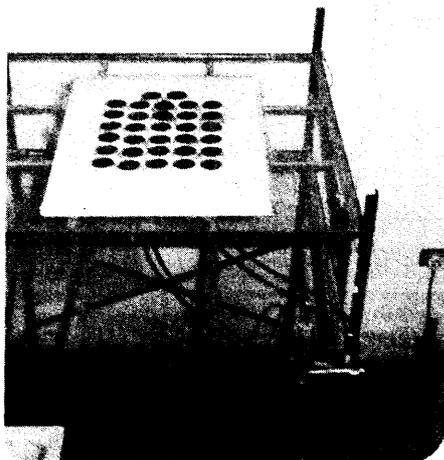


FIGURA 2. Mesa de tensão para determinação da microporosidade e parte da curva de desorção.

d) Microporosidade

Determinada em mesa de tensão, conforme técnica descrita por OLIVEIRA (20).

e) Densidade

1. De partícula: usando-se o método do balão volumétrico, segundo SERÓDIO et alii (26).

2. Do solo ou aparente: segundo método do cilindro volumétrico descrito por FORSYTHE (9).

f) Porosidade total

Calculada segundo FORSYTHE (8).

g) Espaço aéreo do solo quando em capacidade de campo ($-1/3\text{bar}$)

Calculado segundo FORSYTHE (9).

h) Capacidade de campo e ponto de murcha

Para capacidade de campo foi considerado o potencial matriz de $-1/3$ bar e -15 bars para o ponto de murcha (DAKER, 6).

i) Análise granulométrica

Realizada segundo o método do hidrômetro de Boyoucos, descrito por VETTORI (30).

j) Classificação textural

Foi baseada no triângulo de classificação textural, segundo USDA (29) e na denominação das classes texturais foi usada nomenclatura de acordo com a tradução sugerida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEMOS et alii, 14).

4.2. Determinações químicas:

As determinações químicas foram realizadas em cada camada com três repetições, usando-se amostras com estrutura deformada.

Foram solicitadas ao Laboratório de Análises Químicas de Solo da UFSM, as seguintes determinações: teores de matéria orgânica, fósforo, potássio e pH do solo, os quais foram determinados segundo os métodos utilizados pelos Laboratórios de Análise de Solo do Rio Grande do Sul (MIELNICZUK et alii, 16).

4.3. Determinações microbiológicas:

a) População de Nitrificadores

A determinação do número de microorganismos nitrificadores em cada camada do solo foi realizada pelo método descrito por SORIANO (27), cujo princípio baseia-se na formação de uma dupla capa de sílica-gel com cobertura de carbonato de cálcio (CaCO_3) que possibilita a visualização e contagem desses microorganismos.

b) População de *Azotobacter*

A determinação do número de azotobacter em cada camada do solo foi realizada pelo método da dupla capa segundo ASUNCIÓN (1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações realizadas encontram-se nas Tabelas e Figuras, os quais são discutidos à medida que são apresentados.

1. Análise granulométrica e classe textural:

Os resultados da análise granulométrica nas diferentes profundidades e respectivas classes texturais encontram-se na Tabela 1.

Analisando-se a referida Tabela observa-se que na camada de 45-60 cm em relação a de 30-45 cm ocorreu um aumento de 6,3% de areia grossa, 10,5% de areia fina e uma diminuição de 16,2% de silte, enquanto que a percentagem de argila permaneceu praticamente inalterada. Esse comportamento enquadrou essa camada do solo na classe textural Franco, enquanto que as camadas anteriores, de 0-45 cm, foram classificadas como Franco Silteoso, segundo o triângulo-

1o de classificação textural (USDA, 29).

TABELA 1. Resultados da análise granulométrica nas diferentes profundidades e respectivas classes texturais do perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS).

Profundidade (cm)	Areia		Silte	Argila	Classe textural
	Grossa	Fina			
g/100 g solo.....				
0 - 15	0,59	17,42	64,26	17,73	Franco siltoso
15 - 30	0,49	20,54	64,57	14,40	Franco siltoso
30 - 45	3,45	27,85	55,05	13,65	Franco siltoso
45 - 60	9,72	38,40	38,86	13,02	Franco
60 - 75	3,59	30,74	48,08	17,59	Franco
75 - 90	2,73	17,59	60,51	19,17	Franco siltoso
90 - 105	2,63	15,35	55,26	26,76	Franco siltoso
105 - 120	2,74	15,64	57,13	24,49	Franco siltoso

A camada de 60-75 cm foi também enquadrada na classe textural Franco e as demais, localizadas em profundidades maiores, foram enquadradas na classe textural Franco Siltoso.

2. Densidade do solo ou aparente:

A análise da variância dos valores de densidade do solo determinados por três métodos (Torrão Parafinado, Cilindro de Uhland e Anel de Kopecky) encontram-se na tabela 2. Essa análise dos três métodos em cada camada evidenciou que existe diferença significativa entre o Cilindro de Uhland e o Anel de Kopecky apenas nas profundidades de 0-15 e de 90-105 cm, o que demonstra um comportamento similar entre os valores obtidos pelos dois métodos. As diferenças significativas encontradas possivelmente sejam atribuídas à heterogeneidade do solo dentro de cada camada associada a uma grande diferença volumétrica da amostra coletada em cada método.

O método do Torrão Parafinado apresentou valores de densidade do solo muito elevados em relação aos métodos do Cilindro de Uhland e Anel de Kopecky (Figura 3). O aumento de aproximadamente 0,2 unidades nas diferentes camadas atribui-se possivelmente a problemas de execução do método, principalmente em termos de temperatura da parafina.

Observando o comportamento das curvas de densidade do solo pelos três métodos em função da profundidade do solo, evidencia-se na camada 45-60 cm uma ma-

ior densidade pelos métodos Torrão Parafinado e Cilindro de Uhland, o que coincide com um acréscimo de 16,8% de areia em relação à camada anterior, conforme a Tabela 1. Este comportamento está de acordo com BRADY (4), onde há a afirmação de que as partículas de solos arenosos tendem a permanecer em contato íntimo, proporcionando assim elevadas densidades do solo.

TABELA 2: Análise da variância dos valores de densidade do solo determinados pelos métodos Torrão Parafinado (A), Cilindro de Uhland (B) e Anel de Kopecky (C) em um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS).

Profundidades (cm)	Métodos de determinação		
	A	B	C
0 - 15	1,73a	1,50b	1,32c
15 - 30	1,69a	1,51ab	1,55b
30 - 45	1,60a	1,48b	1,52b
45 - 60	1,79a	1,56b	1,53b
60 - 75	1,55a	1,46a	1,49a
75 - 90	1,51a	1,41b	1,44b
90 - 105	1,50a	1,35b	1,47a
105 - 120	1,52a	1,47a	1,54a
Coefficiente de variação (%)	7,7	4,68	5,10 5,16

Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo Teste de Tukey (P menor ou igual a 0,05).

Considerando que os três métodos para determinação da densidade do solo são amplamente difundidos e usados pelos pesquisadores, a seleção do método a ser empregado para a obtenção dos resultados de densidade do solo foi baseada no método que apresentou o menor coeficiente de variação entre as oito profundidades analisadas (Tabela 2). O método do Cilindro de Uhland, que apresentou um coeficiente de variação de 4,68%, foi o que forneceu os valores utilizados para os demais cálculos físico-hídricos.

RIGHES (25), estudando os efeitos da irrigação e drenagem na cultura do milho em solos hidromórficos (Banhado II, Guaíba, RS) encontrou, pelo método do Cilindro de Uhland, valores de densidade do solo para o horizonte A₁ (0-15 cm) de 1,44 g/cm³ e para horizonte A₂ (15-55 cm) de 1,47 g/cm³. Tais valores são próximos aos dados encontrados no presente trabalho pelo método do Cilindro de Uhland diferindo significativamente dos valores encontrados pelos métodos do Torrão Parafinado e Anel de Kopecky para a camada de 0-15 cm de profundidade. Na camada de 15-30 cm o método Torrão Parafinado diferiu significativamente do método Anel de Kopecky, porém ambos diferem do método Cilindro de Uhland (Tabela 2).

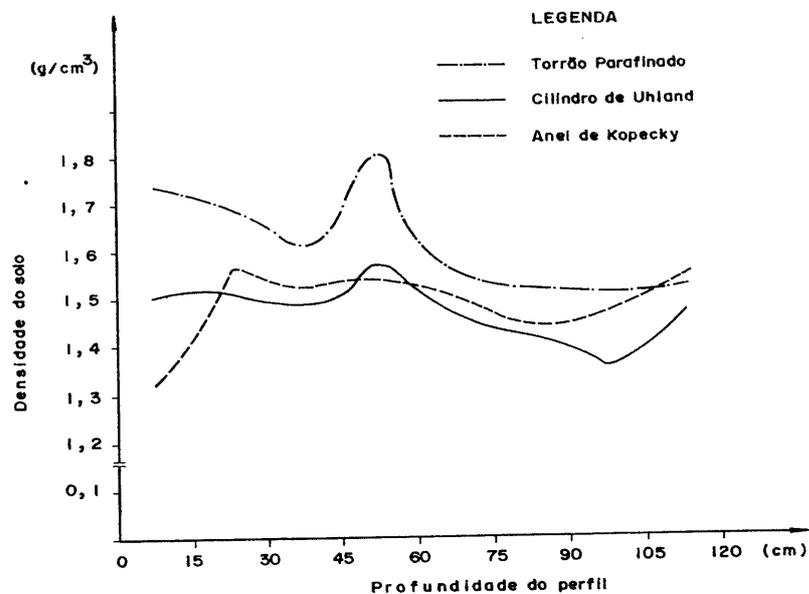


FIGURA 3. Variação da densidade do solo em função da profundidade e dos métodos de determinação para o perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS).

3. Estado energético da água no solo e curva de desorção:

Para estudar-se o estado energético da água no solo foram traçadas as curvas de desorção em cada camada do solo (Figuras 4 e 5).

Analisando o comportamento da curva em relação às diferentes profundidades observa-se que a retenção de água em potenciais maiores que -3 bars obedeceu parcialmente à variação da composição granulométrica das diferentes camadas (Tabela 1), pois a camada de 45-60 cm de profundidade foi a que reteve menor percentagem de água quando submetida aos potenciais -0,06 e -1 bar, sendo esta a camada que apresentou a maior percentagem de areia. No entanto, quando as amostras de solo foram submetidas a potenciais igual e menores a -3,0 bars, observou-se que este procedimento não ocorreu, sendo contrário à variação da composição granulométrica, pelo fato da camada de 30-45 cm, com 31,3% de areia reter uma menor percentagem de água do que a camada de 45-60 cm, com 48,12% de areia. Possivelmente este fato deva-se a outros fatores, podendo-se citar a densidade do solo, macroporosidade e espaço aéreo (Tabela 3). Como a camada de 30-45 cm possui uma densidade do solo menor que a da camada 45-60 cm, consequentemente os valores de porosidade total e espaço aéreo foram superiores.

Com referência ao conteúdo de água retida a diferentes potenciais de água

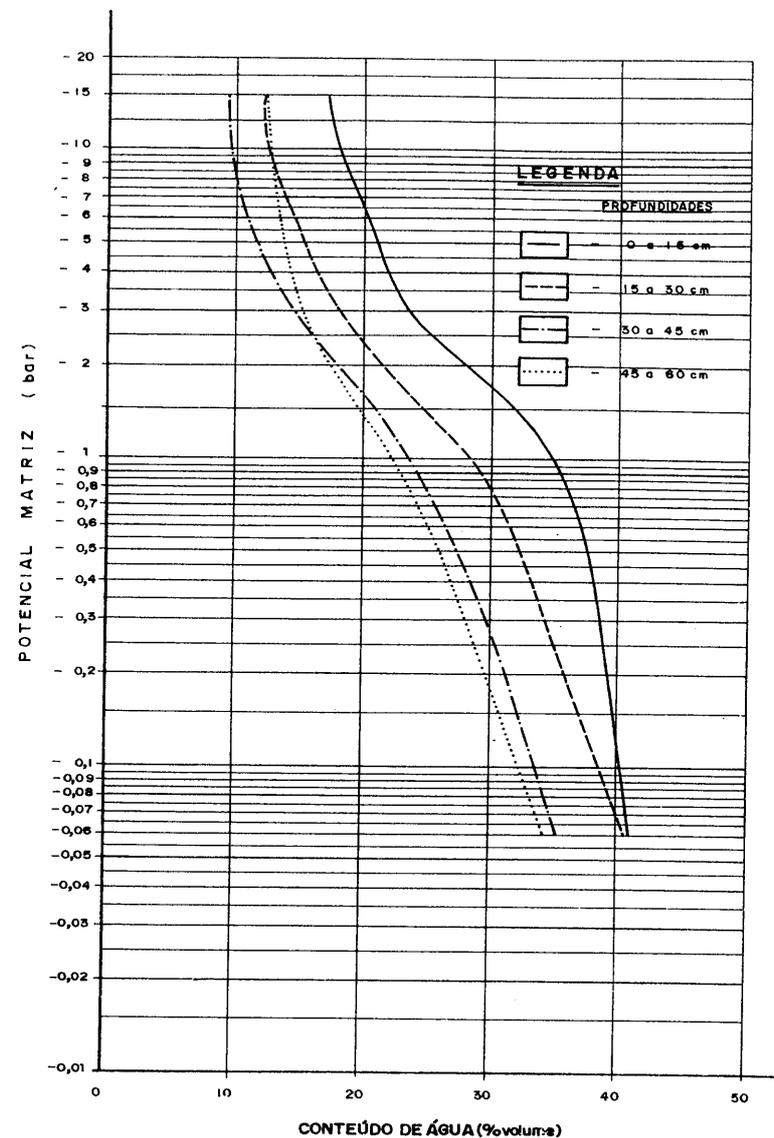


FIGURA 4. Curvas de desorção de água no solo para as camadas de 0 a 60 cm de profundidade no perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS).

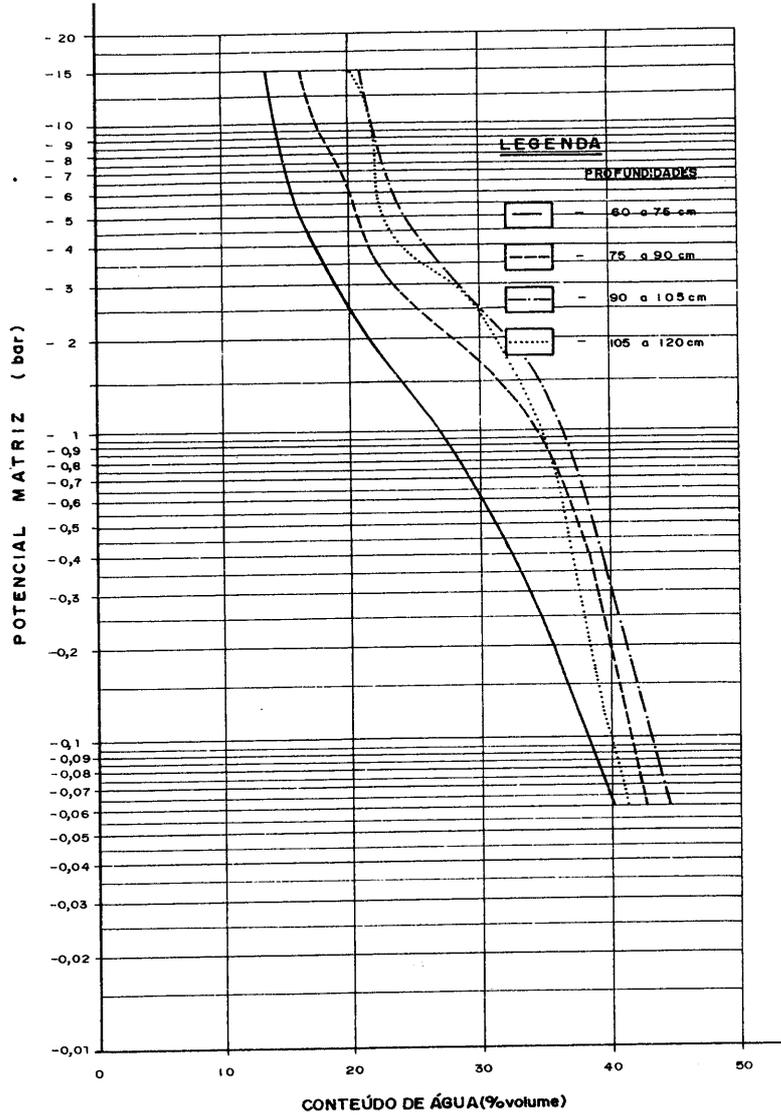


FIGURA 5. Curvas de desorção de água no solo para as camadas de 60 a 120 cm de profundidade no perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS).

TABELA 3. Resultados físico-hídricos de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS). Médias de quatro repetições.

Profundi- dade (cm)	Densidade de Part. Solo	Porosidade		Umidade a:		% Água Disponível	"K _o " (cm/h)	% Ea a -1/3bar (% vol.)	Coeficiente de aerção (Microp/Pt)		
		Total	Macro	-1/3bar -15bars	-100 cm ³ de solo						
0-15	2,53	1,50	40,71	0,88	39,83	38,70	17,36	21,34	0,0230	2,01	0,98
15-30	2,54	1,51	40,55	0,13	40,42	33,80	12,11	21,69	0,1750	6,75	0,99
30-45	2,56	1,48	42,18	6,75	35,43	29,40	9,59	19,81	0,2500	12,78	0,84
45-60	2,56	1,56	39,06	4,76	34,30	27,80	12,36	15,44	0,1590	11,26	0,88
60-75	2,53	1,46	42,29	2,05	40,24	33,30	13,61	19,69	0,1185	8,99	0,95
75-90	2,49	1,41	43,37	0,66	42,71	38,90	16,29	22,61	0,0800	4,47	0,98
90-105	2,46	1,35	45,12	0,54	44,58	40,00	20,74	19,26	0,0220	5,12	0,99
105-120	2,51	1,47	41,43	0,01	41,42	37,40	20,18	17,22	0,0000	4,03	0,99

no solo, ocorreu uma pronunciada variação quando as amostras de solo foram submetidas aos potenciais de -0,06, -1,0 e -3,0 bars, tendendo-se a estabilizar quando submetidas aos potenciais de -6,0, -9,0 e -15,0 bars. Com isto evidencia-se que somente um valor médio do perfil igual a 5,95% de água disponível fica retida a potenciais menores que -3,0 bares de um total de 19,63% de disponibilidade máxima.

4. Espaço aéreo do solo:

A variação do espaço aéreo (E_a) do solo, quando em capacidade de campo, em função da profundidade pode ser visualizada no diagrama físico-volumétrico do perfil (Figura 6). O reduzido valor de E_a na camada superficial está associado a um maior volume de água retida quando em capacidade de campo, que possivelmente seja atribuído a um pequeno acréscimo no teor de matéria orgânica em relação às demais profundidades (Tabela 4), considerando que a porosidade total das camadas de 0-15 e 15-30 cm não sofreu variação.

Ocorreu também um aumento do E_a em capacidade de campo nas camadas situadas entre 30-60 cm de profundidade, coincidindo assim com a profundidade do perfil onde ocorre uma maior percentagem de areia em relação às demais profundidades (Tabela 1).

Pelos dados de E_a , computados para este solo, a difusão de gases não seria limitante para as camadas de 30-45 e de 45-60 cm, cujos valores de macroporosidade foram respectivamente de 6,75 e 4,76%, conforme Tabela 3. Entretanto, para as demais camadas, o E_a quando em capacidade de campo passa a ser limitante pois apresenta valores menores que 10%, sendo este valor considerado por WESSELLING & VAN WIJK (31) como o limite físico inferior de E_a , abaixo do qual não ocorre difusão de gases no interior do solo.

TABELA 4. Concentrações de fósforo, potássio, matéria orgânica e o pH do solo nas diferentes profundidades do perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS). Médias de três repetições.

Profundidade (cm)	pH do solo			P_2O_5 (ppm)	K_2O (ppm)	Matéria orgânica (%)
	H_2O	S	M P			
0 - 15	5,13	6,10	2,80	69,67	0,53	
15 - 30	5,00	6,03	0,83	18,33	0,20	
30 - 45	4,83	6,03	1,30	17,00	0,20	
45 - 60	4,83	6,17	0,60	20,67	0,20	
60 - 75	4,87	6,07	0,60	20,00	0,20	
75 - 90	4,83	5,93	0,83	20,00	0,13	
90 - 105	4,80	5,40	0,60	29,00	0,13	
105 - 120	4,80	5,73	1,30	26,00	0,20	

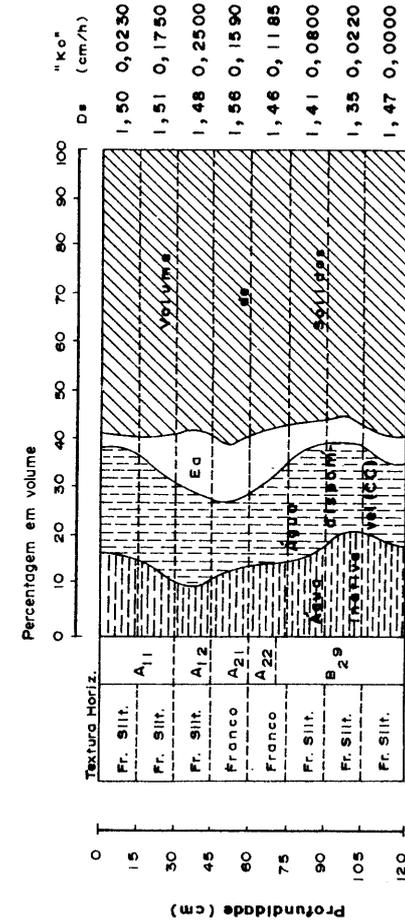


FIGURA 6. Diagrama físico-volumétrico do perfil de um Planosol (unidade de mapeamento Vacacaí, RS). Campus UFSM - Município de Santa Maria.

5. Condutividade hidráulica do solo:

Os dados de condutividade hidráulica são muito importantes para o cálculo do espaçamento e profundidade de drenos e para o delineamento do sistema de drenagem mais adequado às condições específicas.

Para a determinação da camada impermeável do solo foi determinada a condutividade hidráulica saturada "Ko" ao longo do perfil do solo, conforme valores citados na Tabela 3.

Segundo HILLEL (11), um solo é considerado impermeável quando possui "Ko" menor ou igual a 0,0036 cm/h. Determinou-se que a camada de 105-120 cm de profundidade é impermeável, pois sua "Ko" é nula (0,0000 cm/h).

Dentro dos resultados obtidos, a camada que apresentou maior "Ko" foi a de 30-45 cm de profundidade, onde também foram encontrados os maiores valores de macroporosidade e espaço aéreo (Tabela 3).

Analisando os valores de "Ko" ao longo do perfil, verifica-se uma baixa "Ko" para a camada superficial, aumentando até atingir o valor de 0,25 cm/h na camada de 30-45 cm e a partir daí decrescendo com a profundidade até tornar-se nula na camada de 105-120 cm de profundidade.

O valor de 0,023 cm/h para "Ko" na camada de 0-15 cm é um dado inesperado quando comparado com os valores das camadas de 15-30 e 30-45 cm. Foram coletadas mais quatro amostras e repetidas as determinações de "Ko" para a camada superficial e os valores foram consistentes. Verificando-se as características físicas desta camada, não encontrou-se uma explicação aceitável. Entretanto, observou-se grande atividade da fauna edáfica nessa camada, evidenciada pela presença de galerias, sendo que as amostras utilizadas foram coletadas de um local que não apresentava essas perfurações. O baixo valor encontrado na determinação de "Ko" para essa camada possivelmente deva-se ao fato de que no momento da coleta das amostras, o solo apresentava-se com baixo conteúdo de água e ao ser saturado tenha se expandido, alterando as características físicas, principalmente a estrutura, o que possivelmente não tenha ocorrido nas camadas subsequentes, pelo maior teor de umidade no momento da coleta das amostras.

6. Aspectos químicos:

Os valores de pH do solo, fósforo, potássio e matéria orgânica encontram-se na Tabela 4.

Segundo CATANI & JACINTHO (5), os valores de pH obtidos para este solo estão na faixa de acidez elevada (abaixo de 5,0).

BRADY (4), afirma que a assimilabilidade de vários nutrientes essenciais é drasticamente afetada pelo pH do solo, assim como a solubilidade de certos elementos tóxicos ao crescimento vegetal. Em solos com pH abaixo de 5,0 os elementos alumínio, ferro e manganês são com frequência solúveis em quantidades suficientes para atuarem como tóxicos no crescimento de algumas plantas, evidenciando-se assim a necessidade de correção da acidez com calcário, principalmente se este solo vier a ser cultivado com culturas de sequeiro.

Segundo MUZILLI et alii (18), um solo tem baixo teor de fósforo quando es-

te elemento se apresenta numa faixa inferior a 3 ppm.

Os teores de fósforo existentes ao longo do perfil do solo são classificados como baixos (menor que 3 ppm), sendo que a camada superficial apresenta o teor mais elevado (Tabela 4), não ocorrendo grandes variações ao longo do perfil.

Os baixos teores de fósforo encontrados possivelmente possam ser explicados pela presença mínima desse elemento no material de origem desse solo (arenitos e siltitos).

Quanto ao potássio, os teores encontrados ao longo do perfil são considerados baixos (Tabela 4). Observa-se que há pouca variação com a profundidade, com exceção da camada superficial (0-15 cm) onde ocorreu um acréscimo de 49 ppm em relação às demais camadas, sendo considerado um bom teor de potássio para esse solo.

As percentagens de matéria orgânica encontradas ao longo do perfil são consideradas baixas (Tabela 4). Os valores variam de 0,53% para a camada superficial a 0,13 para as camadas mais inferiores. Considerando que o tipo de vegetação existente, as condições físico-hídricas e as características químicas sejam fatores em níveis não favoráveis, parecem ter influência na percentagem de matéria orgânica.

7. Microorganismos nitrificadores e *Azotobacter*:

De acordo com os resultados obtidos não foi constatada a presença de nitrificadores (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) e fixadores livres (*Azotobacter*) no solo estudado. Provavelmente essa ausência deva-se às condições impróprias desse solo ao desenvolvimento desses microorganismos, principalmente quanto à aeração e pH do solo.

PRIMAVESI & PRIMAVESI (21), afirmaram que a formação de nitratos, que é feita pelos *Nitrobacter*, depende não somente da boa aeração do solo, mas também do pH. Em solos ácidos e encharcados, onde há presença de água estagnada e portanto pouca ou nenhuma aeração, a formação de nitratos é altamente deficiente ou nula, permanecendo o amônio total ou parcialmente intacto. O pH ótimo para a transformação de nitrito em nitrato está na faixa de 8,8 a 9,2, ou seja, em ambiente altamente alcalino. Essas afirmações vem de encontro aos resultados encontrados, podendo-se pelos baixos valores de pH do solo (Tabela 4), justificar-se a ausência de microorganismos nitrificadores nesse solo.

O desenvolvimento de *Azotobacter* no solo também é controlado pelo pH, cuja faixa ideal é de 6,0 a 8,0, pela abundância de matéria orgânica, disponibilidade de fosfatos e pela presença de antagonistas.

BEZERRA CAMPELO & BEZERRA DE OLIVEIRA (2) e DOBEREINER (7), encontraram *Azotobacter* em solos com pH até 4,5, apesar de ser considerado próprio em solos com pH 7,0. Isso, porém, são exceções que ocorrem somente em 2% dos solos, sendo nesse caso a fixação por bactérias anaeróbicas muito mais frequente.

Os resultados obtidos neste trabalho, referentes ao fósforo, matéria orgânica e pH do solo (Tabela 4), estão de acordo com as afirmações citadas anteriormente, onde evidencia-se que as características químicas existentes não são favoráveis ao desenvolvimento destes microorganismos, não se encontrando, por isso,

Azotobacter nesse solo.

CONCLUSÕES

1. O método de determinação da densidade do solo que apresentou maior re-
petibilidade ao longo do perfil, foi o método do Cilindro de Uhlund, quando com-
parado com os métodos do Torrão Parafinado e do Anel de Kopecky.
2. Este solo quando em capacidade de campo (-1/3 bar), na camada de 30-
60 cm de profundidade, não apresentou valores limitantes de espaço aéreo à difu-
são de gases.
3. A profundidade máxima para abertura de drenos que tenham efetivamente
ação de drenagem é de 105 cm.
4. O perfil do solo estudado apresentou baixo nível de fertilidade e os
valores de pH são limitantes ao seu uso com culturas de sequeiro sem correção de
acidez.
5. Não foram encontrados microorganismos nitrificadores (gêneros *Nitros-
omonas* e *Nitrobacter*) e fixadores livres de nitrogênio (gênero *Azotobacter*).

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ASUNCIÓN, M. J. A. Determinación cuantitativa de azotobacter, en placas de
sílico-gel, sin secado. *Ci. Invest.*, Buenos Aires, 21(8):368-370, 1965.
2. BEZERRA CAMPELO, A. & BEZERRA DE OLIVEIRA, L. Ocorrência e distribuição em
profundidade de *Azotobacter* e *Beijerinckia* em alguns perfis de solo na zona
úmida de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 4:47-52, 1969.
3. BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agro-
pecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. *Levantamento e reconhecimento
dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 1973. 431 p. (Boletim
Técnico, nº 30).
4. BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos Solos*. 5ª ed. Rio de Janeiro, Frei-
tas Bastos, 1979. 302 p.
5. CATANI, R. A. & JACINTHO, A. O. *Análise química para avaliar a fertilidade
do solo*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, USP,
1974. (Boletim Técnico Científico nº 37).
6. DAKER, A. Irrigação e Drenagem. In: *A Água na agricultura: manual de hi-
dráulica agrícola*. 3ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, vol. 3, 1970.
453 p.
7. DOBEREINER, J. *Azotobacter em solos ácidos*. Rio de Janeiro, Ministério da
Agricultura, 1953. 45 p. (Boletim do Ministério da Agricultura, 11).
8. FORSYTHE, W. M. *Manual de laboratório de física de suelos*. Turriabla, IICA,
1972. 216 p.
9. FORSYTHE, W. M. *Física de suelos, manual de laboratório*. San José, Costa Ri-
ca, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975. 212 p.
10. FORSYTHE, W. M.; AGUAYO, J. U. & GUERRERO, G. B. Uso de medidas físicas a-
plicadas al manejo en suelos arenosos del complejo agua-aeración-planta.
Fitotecnia Latinoamericana, San José, IICA - CIRA, 4(1):81-93, 1967.

11. HILLEL, D. *Solo e água: fenômenos e princípios físicos*. Porto Alegre, Depar-
tamento de Solos, UFRGS, 1970. 231 p.
12. KIRKHAM, D. C. & POWERS, W. L. *Advanced soil physics*. New York, John Wiley &
Sons, 1972. 534 p.
13. KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil.
In: BLACK, C. A. *Methods of soil analysis*. Part. I. Madison, ASA, 1965.
Cap. 13, p. 210-221 (Series Agronomy 9).
14. LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. dos; ARAÚJO, J. E. G. & PAVAGEAU, M. *Manual de
métodos de trabalhos de campo*. 2. aprox. Rio de Janeiro, Soc. Bras. Ciência
do Solo, 1963. 33 p.
15. MALAVOLTA, E. *ABC da adubação*. 4ª ed. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda,
1979. 255 p.
16. MIELNICZUCK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. *Recomendações de adubo e calcário
para os solos e culturas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Faculdade de
Agronomia e Veterinária, UFRGS, 1969. 29 p. (Boletim Técnico nº 2).
17. MILLAR, A. A. *Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas*. São Paulo,
McGraw Hill, 1978. 276 p.
18. MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. & TORNERO, M. T. Emprego da análise do solo e
estimativas de doses econômicas para adubação fosfatada e potássica em cul-
tura de milho no Estado do Paraná, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasilei-
ra*, Brasília, 17(2):203-209, 1982.
19. NIELSEN, D. R.; JACKSON, R. D.; CARY, J. W. & EVANS, D. D. *Soil water*. Madi-
son, Wis., Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer., 1972. 175 p.
20. OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e micro-porosidade pela mesa de tensão
em amostra de solo com estrutura não deformada. *Pesquisa Agropecuária Bra-
sileira*. Série Agron. 3:197-200. 1968.
21. PRIMAVESI, A. & PRIMAVESI, A. M. *Microbiologia agrícola: a microbiologia do
solo*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. Instituto de Solos
e Culturas. Faculdade de Agronomia. 1963. 147 p.
22. PRIMAVESI, A. M. *O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropi-
cais*. 4ª ed. São Paulo, Nobel, 1982. 541 p.
23. REICHARDT, K. *A água na produção agrícola*. Piracicaba, McGraw Hill, 1978.
119 p.
24. RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil, water retentivity of
soil at specific volums of matrix suction. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D. &
ESMINGER, L. E. (Eds). *Methods of soil analysis*. Madison, Wis., Amer. Soc.
Agron., 1965. Part. I, p. 131-137 (Agronomy 9).
25. RIGES, A. A. *Efeitos da irrigação e drenagem em três épocas de semeadura,
na cultura do milho em resteva de arroz*. Porto Alegre, Faculdade de Agro-
nomia, UFRGS, 1971. 140 p. (Tese de Mestrado em Solos).
26. SERÓDIO, M. H.; LEAT, A. C. & SOBRINHO, P. M. *Análises físicas do solo*.
Ithéus, Centro de Pesquisa do Cacau, 1969. 28 p.
27. SORIANO, S. Método para la determinación cuantitativa de microorganismos del
suelo. In: *Progresos en biología del suelo*. Actas del Primer Col. Lat.
Amer. de Biol. del Suelo. Montevideo. 1966. 1:641-650.
28. TAYLOR, S. A. Oxigen difusin in porous media as a measure of soil aeration.
Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, Soil Sci. of Agron., 14:55-61, 1949.
29. U. S. Depart. of Agriculture. *Soil survey manual*. Washington, USDA, 1951.
503 p. (Publicação nº 18).
30. VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agri-
cultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. (Boletim Técni-
co nº 30).
31. WESSELING, J. & VAN WIJK, W. R. Soil physical conditions in relation to drain
depth. In: LUTHIN, J. N. *Drainage of agricultural lands*. Madison, Amer.
Soc. of Agron. 1957. vol. 7. Chap. 5, p. 461-554.