

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DE SOLOS EM
ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO
CONSOLIDADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rosane Martinazzo

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DE SOLOS EM
ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO
CONSOLIDADO**

por

Rosane Martinazzo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. João Kaminski

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DE SOLOS EM
ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO
CONSOLIDADO**

elaborada por
Rosane Martinazzo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

João Kaminski, Dr.
(Presidente/Orientador)

Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)

João Alfredo Braidá, Dr. (UTFPR)

Santa Maria, 16 de fevereiro de 2006.

**“...o estudo é a melhor herança que podemos lhe dar,
e esta não lhe será roubada”**

**DEDICO em especial a dois grandes amigos e
incentivadores, Reinaldo e Geni, a
quem orgulhosamente chamo de Pai
e Mãe.**

**OFEREÇO aos meus irmãos Volmir,
Volnei e Cassiane, exemplos de
coragem e persistência.**

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, pela oportunidade de chegar onde cheguei e por ter me amparado nos momentos de fraqueza, dando-me forças para retomar a caminhada.

À UFSM, ao PPGCS e ao Departamento de Solos, pela minha formação acadêmica e humana.

Ao professor João Kaminski, pela orientação, ensinamentos, amizade, confiança e pelo exemplo de dedicação ao ensino superior.

Ao CNPq, pela importante ajuda financeira por meio da concessão de minha bolsa de estudo.

Ao Sindicato da Indústria da Extração de Mármore, Calcário e Pedreiras no Rio Grande do Sul - SINDICALC, pelo auxílio financeiro à execução desta pesquisa.

Aos professores Leandro Souza da Silva e Danilo Rheinheimer dos Santos, co-orientadores deste trabalho, por todas as sugestões, correções, paciência e atenção dispensada durante todos os momentos do curso, em especial nesta etapa final.

À banca examinadora deste trabalho, composta pelos professores João Kaminski, Leandro Souza da Silva e João Alfredo Braida, pelas considerações e sugestões.

Aos bolsistas do setor de Química e Fertilidade do Solo, pelos momentos de trabalho, amizade e diversão, em especial à Fabiana de Oliveira Dorneles e Ronaldo Nestor Thiesen, pela amizade e brilhantismo na execução das análises, à Fábio Mallmann e Davi Vieira pelo companheirismo e auxílio nas viagens de coleta das amostras e à André Copetti pelo auxílio na confecção dos mapas.

À Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki e André Pellegrini, pelo auxílio nas determinações de resistência à penetração, pela amizade e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos colegas de curso, em especial à Benjamin Dias Osorio Filho, Alexandre Léo Berwanger e Jackson Fiorin, pelas sugestões ao trabalho, discussões, grupo de estudos e verdadeiro companheirismo.

À todos os professores e demais colegas do Departamento de Solos da UFSM, pelo convívio e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos e do PPGCS, especialmente a Luiz Finamor e Tarcísio Uberti, pela ajuda nos momentos de dificuldade, pela amizade e pelos momentos de descontração.

Aos amigos, de longe e de perto, pelo ombro amigo, apoio, companheirismo e incentivo em todos os momentos, em especial à Rafael Vivian, Adriano Rudi Maixner (mano), Aline de Oliveira Fogaça, Paula Machado dos Santos, Mônica Vizzotto Reffatti e Clarissa Melo Cogo.

Às colegas de apartamento, Aline Franken, Elisandra Pocojeski, Andréia Engelman e Luciane Rumpel Segabinazzi, pela conversa amiga e o mate nos finais de tarde.

Ao agricultor, pela vontade e persistência com que trabalha arduamente de sol a sol para produzir o sustento da humanidade, e que constitui a razão maior deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado, me incentivando e me dando força, porque quem chega onde estou chegando nunca chega sozinho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DE SOLOS EM ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

Autor: Rosane Martinazzo
Orientador: João Kaminski
Data e local da defesa: Santa Maria, 16 de fevereiro de 2006.

O Rio Grande do Sul apresenta oscilações na produtividade média da soja, as quais, são atribuídas às adversidades climáticas, porém, também pode ser devido às limitações na fertilidade do solo, com destaque para a acidez e deficiência de fósforo em subsuperfície, agravadas pela presença de camadas compactadas, que dificultam o aprofundamento radicular. Este trabalho foi realizado com o objetivo de diagnosticar a situação da fertilidade do solo em áreas conduzidas sob plantio direto consolidado, em regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul. O diagnóstico foi realizado durante o ano agrícola 2004/05, em 20 lavouras conduzidas sob plantio direto há mais de cinco anos. Foram amostrados 140 pontos de coleta, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade e determinados o pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio e calculadas a soma de bases, CTC efetiva, CTC₇, H+Al e a saturação por bases e por alumínio. Em cada ponto de coleta foi realizada a análise de resistência do solo à penetração e de umidade. Os resultados obtidos mostraram que somente 50% de amostras de solo na camada superficial (0-10 cm) e 8% nas camadas mais profundas não apresentam limitações químicas conforme padrões estabelecidos pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Em torno de 30% das amostras na camada superficial e 77% nas camadas mais profundas apresentam baixa disponibilidade de P. Adicionalmente, 40% das amostras nas camadas subsuperficiais possuem P e K abaixo do nível de suficiência e somente 50% delas não apresentam problemas de acidez. Todos os locais amostrados apresentam tendência à compactação.

Palavras-chaves: acidez de subsuperfície, disponibilidade de nutrientes, indicadores de solo.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

SOIL FERTILITY DIAGNOSIS IN AREAS UNDER NO-TILLAGE CONSOLIDATED

Author: Rosane Martinazzo
Adviser: João Kaminski
Date and place of defense: Santa Maria, february 16, 2006.

The soybean average productivity in Rio Grande do Sul presents great oscillations which are attributed to climatic adversities. The productivity can also be affected by soil fertility limitations, specially acidity and P deficiency in subsurface, and by physical limitations to roots growth. This work was carried out to evaluate the soil fertility in areas under consolidated no-tillage, in soybean producing regions of Rio Grande do Sul. The diagnosis was carried out during the agricultural year 2004/05, in twenty soybean farmings under no-tillage with more than five years. We collected 140 soil samples in three layers (0-10, 10-20 and 20-30 cm) and mesearued water pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and aluminum. We calculate the exchangeable bases, efetive CEC, CEC₇, H+Al and the saturation for bases and for aluminum. In each point of collection soil samples was made analysis of soil resistance to the penetration and water soil content. Only 50% soil samples in surface layer (0-10 cm) and 8% in deeper layers do not showed chemical limitations as standards established for the Chemical and Fertility Soil Comission. Around 32% soil samples in surface layer and 77% in deeper layers showed low P availability. Additionally, 40% soil samples in subsurface showed low P and K availability, and only 50% no have acidity limitations. The soil compactation is a general problem in all soybean farmings.

Key words: subsurface acidity, nutrients availability, soil indicators.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Locais de coleta, município, tipo de solo, teor de argila das lavouras amostradas e número de amostras coletadas em cada município.....	30
TABELA 2 – Distribuição percentual das faixas de pH, saturação por alumínio e saturação por bases em três profundidades de amostragem.....	35
TABELA 3 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento entre saturação por bases e pH em água, em três profundidades de amostragem.....	37
TABELA 4 – Distribuição percentual das amostras em classes de disponibilidade de potássio e fósforo em três profundidades de amostragem.....	42
TABELA 5 – Distribuição percentual das amostras em intervalos de teores de matéria orgânica em três profundidades de amostragem.....	46
TABELA 6 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento para saturação por bases em relação à disponibilidade de fósforo (P) e de potássio (K), em três profundidades de amostragem.....	47
TABELA 7 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento para saturação por alumínio em relação à disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), em três profundidades de amostragem.....	48
TABELA 8 – Distribuição de frequência das amostras em faixas de RP relativa, em três profundidades de amostragem.....	52

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuição de freqüência do pH nos solos analisados em três profundidades de amostragem.....	38
FIGURA 2 – Distribuição de freqüência da saturação por alumínio nos solos analisados em três profundidades de amostragem	38
FIGURA 3 – Distribuição de freqüência da saturação por bases nos solos analisados em três profundidades de amostragem	39
FIGURA 4 – Distribuição de freqüência para fósforo em função do nível de suficiência (NS) nos solos analisados em três profundidades de amostragem	43
FIGURA 5 – Distribuição de freqüência para potássio em função do nível de suficiência (NS) nos solos analisados em três profundidades de amostragem	44
FIGURA 6 – Resistência do solo à penetração (figura à esquerda) e umidade do solo (figura à direita) para os locais amostrados nos municípios de Capão Bonito do Sul (a), Palmeira das Missões (b) e Giruá (c)	50
FIGURA 7 – Resistência do solo à penetração (figura à esquerda) e umidade do solo (figura à direita) para os locais amostrados nos municípios de Cruz Alta (a), Campinas do Sul (b) e Santa Bárbara do Sul (c).....	51
FIGURA 8 – Detalhe do sistema radicular da soja amostrado no local 18, município de Santa Bárbara do Sul	53
FIGURA 9 – Detalhe do sistema radicular da soja amostrado nos locais 14 (a), 15 (b) e 16 (c), no município de Campinas do Sul	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Histórico da produção agrícola no RS.....	13
2.2 Produção de grãos no RS sob plantio direto.....	15
2.3 Efeitos da adoção do plantio direto nas características do solo.....	16
2.4 Indicadores químicos e físicos do solo.....	17
2.4.1 Indicadores químicos.....	18
2.4.1.1 Parâmetros da acidez do solo.....	18
2.4.1.2 Disponibilidade de fósforo.....	21
2.4.1.3 Disponibilidade de potássio.....	24
2.4.1.4 Matéria orgânica do solo (MOS).....	26
2.4.2 Indicadores físicos.....	27
2.4.2.1 Resistência do solo à penetração (RP).....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Seleção dos locais de coleta.....	30
3.2 Coleta e preparo das amostras.....	31
3.3 Variáveis analisadas e métodos analíticos.....	31
3.4 Organização dos dados.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Parâmetros da acidez.....	34
4.2 Disponibilidade de fósforo e de potássio.....	41
4.3 Matéria orgânica do solo (MOS).....	46
4.4 Análise de agrupamento dos dados.....	47
4.5 Resistência do solo à penetração (RP).....	49
5 CONCLUSÕES.....	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
7 ANEXOS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul cultiva em torno de quatro milhões de hectares de soja, mas possui a mais baixa média brasileira de produtividade. Além disso, apresenta oscilações na sua produtividade média anual, em função da freqüente ocorrência de períodos com deficiência hídrica que acontecem, principalmente, durante a fase de florescimento e enchimento de grãos. A variação no rendimento em função do déficit hídrico é comum entre regiões, mas também ocorre entre áreas próximas. Por isso, ela também pode ser atribuída às limitações da fertilidade do solo, que ainda ocorrem em grande parte das lavouras, com destaque para a acidez e deficiência de fósforo em subsuperfície, agravadas pela presença de camadas compactadas, que dificultam o aprofundamento radicular, tornando mais severos os danos durante o período de deficiência hídrica.

Há expectativas destas ocorrências em lavouras conduzidas sob plantio direto (PD) cuja implantação deu-se sobre campo nativo ou sistema de cultivo convencional com baixos teores de nutrientes e/ou compactação subsuperficial. Para obter produtividades satisfatórias, estes solos requerem adequação na disponibilidade de nutrientes, correção da sua acidez e melhoria de sua estrutura. Entretanto, na implantação do PD, muitos agricultores simplesmente deixaram de ter o solo revolvido, sem uma avaliação adequada da área. Por isso, algumas áreas permaneceram com limitações de ordem química e/ou física, que pode caracterizar uma possível barreira para o desenvolvimento das plantas.

Em geral, sob estas condições não se tem observado restrições ao desenvolvimento e produtividade das culturas quando há boa disponibilidade de água, contudo, em cultivos não-irrigados sob condições climáticas desfavoráveis, podem limitar o aprofundamento das raízes dificultando a obtenção de água e o acesso aos nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, impedir a expressão do potencial genético da cultura. Por isso, o diagnóstico da situação das propriedades químicas e físicas do solo pode ser importante para orientar futuros trabalhos de investigação e pesquisa que visam a manutenção da produtividade, pois, a produção das culturas é resultado da associação destas propriedades, além das interferências climáticas.

O objetivo deste trabalho é diagnosticar a situação da fertilidade do solo em áreas conduzidas sob PD consolidado, em regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul, através da avaliação dos parâmetros de acidez e dos teores de nutrientes na camada superficial e na subsuperfície e da presença de camadas compactadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da produção agrícola no RS

A utilização do solo em grande escala e o avanço da fronteira agrícola no Sul do Brasil basearam-se em sistemas de manejo trazidos pelos colonizadores europeus. No Rio Grande do Sul, os alemães estabeleceram-se, a partir de 1825, nos vales dos rios e encostas basálticas próximos à região metropolitana de Porto Alegre e, os italianos, a partir 1875, nas encostas da Serra do Nordeste (Mielniczuk, 2003).

Estas colônias desenvolveram-se rapidamente, à custa da fertilidade natural dos solos de mata; porém, logo entraram em declínio devido ao empobrecimento do solo que, com o esgotamento da matéria orgânica e nutrientes, tornaram-se ácidos e improdutivos. Com a exaustão do solo pelos cultivos e aumento populacional, houve o deslocamento dos imigrantes para novas áreas de colonização na zona de matas subtropicais do Planalto Médio, Missões e encostas do Rio Uruguai, onde a fertilidade natural dos solos era baixa, dificultando a fixação dos agricultores nestes locais. Houve então, aumento da migração para outros Estados, ocorrido nas décadas de 60-70, quando houve, também, a ampliação do tamanho das propriedades e aumento da área cultivada por causa da implantação de uma agricultura mecanizada e utilização de fertilizantes (Anghinoni, 2005). Este avanço da fronteira agrícola se deu sem o conhecimento necessário do sistema de manejo do solo adequado para as condições tropicais e subtropicais.

O sistema utilizado pelos primeiros agricultores do Rio Grande do Sul baseava-se na retirada dos resíduos vegetais da superfície e na intensa mobilização do solo, objetivando oferecer condições ideais para a germinação das sementes, reconhecido como sistema de cultivo convencional (SCC). A mobilização, em clima temperado, é necessária para o aquecimento do solo e para o incremento do armazenamento de água em função da maior rugosidade superficial induzida (Amado & Eltz, 2003). Os autores ressaltam, também, que o padrão de chuvas de longa duração e baixa intensidade, no clima temperado, limita a ocorrência da erosão e favorece a infiltração. Já, as condições de relevo e o clima do Rio Grande do Sul condicionaram o insucesso deste manejo agressivo do solo, o que, na década de 70, provocou severa degradação, limitando inclusive, a eficiência da aplicação de adubos e de corretivos por causa das perdas por erosão (Anghinoni, 2005).

A partir do final da década de 70 e início dos anos 80, foram criados programas visando o manejo conservacionista do solo, com redução do preparo e manutenção de cobertura vegetal na superfície. Segundo Mielniczuk (2003), em 1979 no RS as formas de manejo com mobilização do solo abrangiam mais de 90% da área cultivada, enquanto que, em 1999, apenas 30% recebiam esse tratamento.

Dentre os sistemas conservacionistas destaca-se o plantio direto (PD), que foi desenvolvido gradativamente nos Estados Unidos, Alemanha e Nova Zelândia, a partir da década de 60 e no final dos anos 70 foi introduzido no RS (Muzilli, 1985). O PD preconizava um conjunto de técnicas que, em sua essência visava, principalmente, reduzir a mobilização do solo, com o intuito de controlar a erosão. Os resultados comprovam que este objetivo foi atingido. Eltz et al. (1984) obtiveram resultados de cinco anos em Argissolo Vermelho Amarelo onde perdas de solo em preparo convencional, na sucessão trigo-soja, foram de 129,8 t ha⁻¹, enquanto que no plantio direto foram de 45,2 t ha⁻¹. Resultados de quatro anos, no mesmo tipo de solo, mostraram perdas de solo de 92,6 t ha⁻¹ para o SCC de trigo-milho e de apenas 13 t ha⁻¹ para a mesma sucessão em PD. Em Latossolo Roxo, Cassol et al. (1981), obtiveram em quatro anos de sucessão trigo-soja, perdas de 38,5 t ha⁻¹ para o preparo convencional e de 2,6 t ha⁻¹ para o plantio direto.

Embora apresentasse vantagens em sua utilização, alguns entraves dificultavam a expansão do plantio direto, como a ausência de máquinas específicas para as condições impostas pelo sistema, as limitações de produtos destinados ao controle de plantas invasoras e o próprio desconhecimento das técnicas utilizadas nesta forma de cultivo. Gradativamente as dificuldades foram vencidas e a área de cultivo sob PD, no Rio Grande do Sul, alcançou 3.593 mil hectares na safra 2000/01 (FEBRAPDP, 2005).

Entretanto, cabe salientar que, apesar dos avanços em relação ao cultivo convencional, perdas significativas de água têm sido relatadas em áreas sob PD em função do decréscimo da capacidade de infiltração do solo, devido à presença de camadas compactadas superficiais ou em subsuperfície. A diminuição da taxa de infiltração reduz o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, o uso pelas plantas, tornando-as mais suscetíveis a estresses hídricos e/ou dificultando a expressão do seu potencial genético (Taylor & Burnett, 1963; Eck & Taylor, 1969; Vepraskas & Wagger, 1990). Então há, ainda, alguns obstáculos a serem superados para a consolidação do sistema para as condições de clima e solo do Estado.

2.2 Produção de grãos no RS sob plantio direto

No Rio Grande do Sul, as condições climáticas desfavoráveis têm sido apontadas como o principal entrave para manutenção de uma média estável na produção agrícola. Os períodos de estiagem ou má distribuição de chuvas têm sido frequentes no Estado, causando drástica redução na produção de grãos e a conseqüente crise do setor, em função de que a produção de grãos de sequeiro é o principal sistema de produção do Estado. Da área total cultivada com grãos, em torno de 65% são ocupados pela soja (CONAB, 2005), a qual assume grande importância junto às propriedades rurais por constituir-se na principal atividade desenvolvida em praticamente um terço dos estabelecimentos rurais do Rio Grande do Sul (IBGE, 2005). Nas áreas cultivadas com essa cultura, o PD destaca-se entre os sistemas de manejo adotados, ocupando em torno de 76% da área plantada na safra 1999/2000 (Anuário Brasileiro da Soja, 2001).

Apesar de possuir a segunda maior área cultivada (3.971 mil hectares), o Rio Grande do Sul é detentor da menor média de produtividade de soja do país, em função da freqüente ocorrência de períodos com deficiência hídrica que acontecem, principalmente, durante a fase de enchimento de grãos. O Estado apresentou produtividade média de 1400 e 629 kg ha⁻¹, nas safras 2003/04 e 2004/05, respectivamente, o que representa uma variação de 55% no rendimento médio da cultura, contrastando com o Mato Grosso, maior produtor do país, com 2864 e 2868 kg ha⁻¹ nas referidas safras (Anuário Brasileiro da Soja, 2005). Outra e importante causa dos baixos rendimentos dessa cultura pode ser as limitações da fertilidade do solo, em especial a acidez em subsuperfície e a deficiência de P, agravadas pela presença de camadas compactadas, que dificultam o aprofundamento radicular, agravando os danos durante o período de deficiência hídrica.

O decréscimo no rendimento é tanto mais pronunciado quanto menor for a capacidade das plantas de resistir ao estresse hídrico. A suscetibilidade da planta à falta de água está associada às características intrínsecas da planta (cultivar, profundidade efetiva do sistema radicular, capacidade de absorção de água e nutrientes, entre outros) e aos fatores bióticos e abióticos que interferem no seu crescimento e desenvolvimento. Dentre os fatores bióticos destacam-se os insetos, fungos e plantas invasoras e, como fatores abióticos passíveis de controle podem ser citados o manejo do solo e a sua fertilidade.

As características da planta, ainda que possam ser modificadas através do melhoramento vegetal, são de difícil intervenção e controle em curto prazo. Os fatores

bióticos e abióticos podem ter seus efeitos maléficos minimizados por práticas culturais. Assim, a manutenção das populações de insetos, fungos e plantas invasoras abaixo do nível de dano e a adequação das propriedades químicas e físicas do solo pode possibilitar à planta maior tolerância à períodos de estiagem. No PD, especialmente em áreas onde não foi realizada a adequação do perfil do solo, previamente ao início do sistema, restrições referentes à fertilidade ou às condições físicas do solo podem se fazer presentes em função da deposição superficial dos insumos, do intenso tráfego de máquinas e da não-mobilização do solo, características do manejo nesse sistema.

2.3 Efeitos da adoção do sistema plantio direto nas características do solo

O início da implantação do PD no Rio Grande do Sul ocorreu sob diferentes cenários, a) sob SCC bem conduzido, o qual preconizava a incorporação dos fertilizantes e corretivos em níveis adequados pelo menos até 20 cm de profundidade, a chamada camada arável, e a ausência de camadas compactadas promovidas pelos equipamentos de cultivo (pé-de-arado), b) sob SCC que apresentava problemas de compactação subsuperficial e/ou de fertilidade advindos da má condução do sistema, como o desrespeito às condições de umidade ideais para o preparo do solo, a redução dos teores de matéria orgânica e nutrientes pela erosão ou a falta de correção da acidez e dos baixos teores de nutrientes e, c) sob campo nativo, que nas condições subtropicais do Rio Grande do Sul, são solos que possuem fertilidade natural baixa, pH baixo e elevados teores de alumínio. Estes solos requerem adequação do seu estado nutricional e correção da sua acidez, a fim de promover o desenvolvimento radicular e o aproveitamento dos nutrientes necessários às culturas e, então, poder produzir satisfatoriamente.

No que se refere à fertilidade do solo, a aplicação de corretivos e fertilizantes na implantação do PD, em solos de campo natural ou em solos degradados que apresentam acidez elevada e baixa disponibilidade de nutrientes, deve ser realizada através de incorporação ao solo na camada de 0 a 20 cm (CQFS, 2004). Entretanto, em muitas áreas no Rio Grande do Sul, a implantação desse sistema não seguiu as recomendações técnicas. A oferta de máquinas e insumos e a disponibilidade de crédito viabilizaram financeiramente a utilização do solo sem revolvimento e, com isso, muitos agricultores simplesmente pararam de revolver o solo, sem um adequado planejamento da propriedade para a mudança no sistema de cultivo e sem conhecimento suficiente sobre o mesmo (Rheinheimer, 2004).

Quando ao se iniciar o sistema não se procede a adequada correção da acidez e elevação dos teores de nutrientes ao nível de suficiência, pelo menos na camada 0-20 cm, a construção da fertilidade dá-se predominantemente na camada superficial, até a profundidade de deposição dos insumos, criando um gradiente de concentração muito acentuado nas camadas abaixo. Isto pode caracterizar uma possível barreira química para o crescimento radicular, devido à presença de alumínio tóxico e baixos teores de elementos essenciais abaixo da camada de deposição dos insumos, normalmente até 10 cm de profundidade. Em geral, solos cultivados sob PD que apresentam essas características implicam num crescimento radicular superficial, como observado por Triplett Jr. & Van Doren Jr. (1969) e Kang & Yunusa (1977), onde raízes cresceram na superfície do solo, logo abaixo da camada de palha, o que não tem mostrado restrições ao desenvolvimento e produtividade das culturas em condições de boa disponibilidade de água (Gonzalez-Erico et al., 1979; Silva et al., 2000a). Contudo, em cultivos não-irrigados sob condições climáticas desfavoráveis, o pouco aprofundamento das raízes pode levar a problemas no rendimento e possíveis desequilíbrios de nutrientes, ressalvados os possíveis problemas de acidez em profundidade.

Além disso, a concentração dos fertilizantes na camada superficial pode saturar a sua capacidade de retenção de nutrientes como P e K, facilitando seu arraste com a água que sai do sistema, atingindo as vias de drenagem, com conseqüente eutrofização, em especial das águas de superfície (Rheinheimer et al, 2003). O fósforo é um dos elementos freqüentemente citados pelos estudos de impacto ambiental, pois, o enriquecimento de fósforo na água favorece a eutrofização e o crescimento excessivo de algas (Pellegrini, 2005; Lima, 2005).

Neste sistema de manejo também são relatadas barreiras de ordem física, em função da compactação ocasionada pelo tráfego intensivo de máquinas e manejo do solo sob condições de umidade inadequada ou ainda, advindas do sistema de cultivo utilizado anteriormente. Assim, para promover e manter o rendimento das culturas e diminuir o impacto ambiental, o PD deve ser freqüentemente monitorado, visando corrigir suas eventuais dificuldades para manter o sistema produtivo e sustentável.

2.4 Indicadores químicos e físicos do solo

Existem indicadores químicos e físicos do solo que podem ser usados para diagnosticar a sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo a sua produtividade e a qualidade ambiental. Esses atributos devem ser sensíveis às variações do

manejo e correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo (Doran & Zeiss, 2000). Segundo Islam & Weil (2000), os possíveis indicadores da qualidade do solo podem ser divididos em três grupos, a saber: 1) efêmeros, cujas alterações se dão rapidamente no tempo de acordo com o manejo, como a acidez, a disponibilidade de nutrientes e a compactação do solo, 2) intermediários, que dependem da influência dos processos que ocorrem no solo, tais como teor de carbono orgânico total, agregação e biomassa microbiana e, 3) permanentes, que são inerentes às características do solo, como profundidade, textura e mineralogia.

Definidos os indicadores, pode-se avaliar o atual estado de qualidade do solo medindo e comparando estes atributos com os valores considerados ideais ou com os valores encontrados no solo sob estado natural (Doran & Parkin, 1994; Sarrantonio et al., 1996). Os indicadores efêmeros são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos a forma de uso do solo e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo, embora os intermediários também devam ser considerados.

2.4.1 Indicadores químicos

2.4.1.1 Parâmetros da acidez do solo

Em regiões tropicais, especialmente onde há ocorrências de veranicos, além dos problemas na superfície, a acidez de subsuperfície tem sido apontada como uma das principais causas de limitação à produtividade agrícola, dada a ação deletéria sobre o crescimento de raízes (Quaggio et al., 1993).

No sudoeste americano, desde cedo se tem identificado o Al (Adams & Lund, 1965) e a deficiência de cálcio (Rios & Pearson, 1964) como as principais barreiras químicas ao crescimento de raízes e à produtividade das culturas em solos com subsolos ácidos. No Brasil, estudos desenvolvidos em solos de cerrado apontaram a elevada saturação por Al em subsuperfície como causa da redução do rendimento das culturas (Gonzalez-Erico et al., 1979). A toxicidade causada pelo Al e/ou a deficiência de cálcio em solos do cerrado tem sido apontada, também, como restritiva ao crescimento do sistema radicular (Sousa, 2004).

O Al, em especial, além da paralisação do crescimento, causa engrossamento das raízes, devido ao enrijecimento da parede e à inibição da divisão celular (Foy & Fleming, 1978; Foy et al., 1978), o que por sua vez, altera a absorção e utilização de nutrientes,

especialmente o P (Canal & Mielniczuk, 1983). Diante disso, em solos cuja fertilidade natural é baixa e a acidez é elevada, o suprimento de elementos essenciais pode não ser adequado para a obtenção de boas colheitas e os riscos de deficiência hídrica são muito elevados, visto que o desenvolvimento das raízes concentra-se na camada superficial, mais rica em nutrientes e matéria orgânica.

O diagnóstico da acidez do solo é feito pela interpretação dos valores de pH em água e pela porcentagem da saturação da CTC₇ por bases, em amostras coletadas na camada 0-10 cm, pressupondo-se que não há presença de elementos tóxicos, em especial Al, pelo menos até 20 cm de profundidade. Conforme as indicações técnicas da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004), para propiciar às culturas um ambiente adequado ao seu desenvolvimento, o pH do solo deve ser superior a 5,5 e a saturação por bases superar 65% da CTC. A elevação do pH a valores superiores a 5,5 faz com que as formas trocáveis e polímeros parcialmente hidrolizados de Al transformem-se em Al(OH)₃, o qual não afeta o desenvolvimento das plantas e, por estar na forma neutra e insolúvel, tem sua atividade drasticamente diminuída. Também, com o aumento do pH há criação de cargas negativas o que contribui para a CTC e, conseqüentemente, para a saturação por bases. Quando somente um desses critérios for atendido, a calagem só não é indicada se a saturação por Al for menor que 10% e se o teor de P for classificado como “muito alto”, em função de pelo menos três fatores. Primeiro, estas concentrações de Al não são consideradas limitantes ao crescimento e desenvolvimento da planta (CQFS, 2004). Segundo, porque o principal efeito da calagem é aumentar o volume de exploração das raízes e, conseqüentemente, aumentar a absorção de água e de nutrientes. Terceiro, em solos com teores altos de P disponível parece haver um efeito compensatório e pode não haver resposta à calagem. É possível que o P tenha um efeito semelhante ao do calcário, complexando o Al e diminuindo a sua atividade e minimizando os prejuízos às plantas (Vilela & Anghinoni, 1984).

Quando as condições inadequadas de pH, saturação por Al e por bases ocorrem em subsuperfície, há dificuldades em relação à sua correção, pois, o PD não prevê a incorporação dos corretivos. De fato, a calagem superficial tem proporcionado melhorias no ambiente radicular e alterações nos atributos químicos no perfil do solo, porém as alterações com relevância agrônômica e que facilitam o desenvolvimento radicular limitam-se a poucos centímetros, agravados em situações com impedimento físico por compactação ou selamento de poros (Kaminski et al., 2005). Os efeitos proporcionados pela calagem superficial podem ser comparáveis à calagem incorporada em solos menos argilosos, com menor acidez potencial e com teores elevados de nutrientes, em especial fósforo (Caires et al., 1998;

Amaral, 2002; Gatiboni et al., 2003; Vilela & Anghinoni, 1984). Entretanto, nem sempre as alterações nos atributos químicos do solo são consideradas eficientes. A eficiência da calagem é determinada, independentemente da forma de aplicação, pelo tempo de manutenção do efeito na camada neutralizada e pelo volume de solo corrigido, no qual o alumínio tem a sua atividade drasticamente diminuída e a saturação por bases supera a metade da CTC (Kaminski et al., 2005).

Trabalhos conduzidos por Rheinheimer et al. (2000) no período de 1994-1998 para avaliar as modificações em alguns atributos químicos provocados pela aplicação de calcário superficial e incorporado ao solo a partir de pastagem natural num Argissolo Acinzentado distrófico plúntico, demonstraram que a aplicação da dose total recomendada (17 t ha^{-1}), em superfície, neutralizou o alumínio e promoveu a elevação do pH e de cálcio e magnésio até a profundidade de 10 cm aos 48 meses após a aplicação do corretivo. Abaixo de 10 cm estes parâmetros praticamente não se alteraram e, os efeitos mais pronunciados abaixo desta profundidade foram conseguidos somente com a incorporação do calcário. Segundo os autores, não ocorreu migração dos efeitos da calagem no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessária para neutralizar o alumínio trocável das camadas subjacentes. Trabalhos de Gonzalez-Erico et al. (1979), Quaggio et al. (1982) e Quaggio et al. (1985) concordam com estes dados, demonstrando que a calagem, em doses superiores às necessárias, pode proporcionar a correção de camadas do subsolo.

Os efeitos da calagem só ocorrem em profundidade após o pH na zona de dissolução do calcário ter atingido valores acima de 5,5 (Pavan & Roth, 1992). Enquanto existirem cátions de reação ácida da solução do solo (H^+ , Al^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+2}), a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície. Para que haja neutralização da acidez em profundidade, os produtos da dissociação do calcário têm de ser arrastados para camadas inferiores (Rheinheimer et al., 2000). Além disso, o aumento da CTC, pela elevação do pH, aumenta a retenção de cátions (Petrere & Anghinoni, 2001). Isso diminui a migração dos cátions para camadas mais profundas.

Os processos que promovem a migração dos agentes de neutralização da acidez no perfil do solo ainda estão em discussão (Kaminski et al., 2005). Alguns autores (Miyazawa et al., 1993; Oliveira & Pavan, 1996; Franchini et al., 1999) consideram que as substâncias orgânicas hidrossolúveis promovem a migração de cálcio e atuam como ligantes complexando o alumínio e aliviando seus efeitos deletérios. Outros (Amaral, 2002; Petrere & Anghinoni, 2001) atribuem os efeitos em profundidade às partículas de calcário que migram via canais e bioporos no perfil. Caires et al. (1998), Rheinheimer et al. (2000), Moreira et al. (2001),

Gatiboni et al. (2003) consideram que a correção depende da dose aplicada, do tempo decorrente da aplicação e das características físicas dos solos. Como se pode perceber, para que ocorra melhoria do perfil do solo através de aplicações superficiais de insumos é importante a manutenção de características físicas adequadas, a presença de bioporos e adições constantes de material orgânico.

Portanto, mesmo com a existência da neutralização da acidez pelo uso de calagem superficial, a acidez na subsuperfície pode impedir o aprofundamento das raízes, dificultando o abastecimento de água pelas plantas em períodos de ocorrência de déficit hídrico. Além disso, a redução da superfície de absorção diminui o acesso aos nutrientes, em especial, P e K que, dentre os nutrientes essenciais, são os que recebem maior atenção da pesquisa em solos do Rio Grande do Sul, em função de sua importância para as plantas e disponibilidade condicionada às condições de solo e manejo.

2.4.1.2 Disponibilidade de fósforo

Os solos agricultáveis e não adubados do RS, geralmente possuem baixos teores de P disponível, consequência de sua habilidade em formar compostos de alta energia de ligação com os colóides, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida, sendo este nutriente comumente citado como fator mais limitante da produtividade das culturas (Drescher, 1991; Rheinheimer et al., 2001). De acordo com Gatiboni (2003), em função da baixa disponibilidade de P em solos intemperizados de ecossistemas naturais, diversos mecanismos são utilizados pelas plantas e organismos adaptados para aumentar a eficiência de absorção de P. As estratégias podem ser de caráter morfológico, como mudanças na morfologia das raízes e a associação com fungos micorrízicos ou, de caráter bioquímico ou fisiológico, como a mobilização do P inorgânico vacuolar, a secreção de ácidos orgânicos e a ativação de genes para mudanças nos carregadores de P (Rhaghothama, 1999 apud Gatiboni, 2003). Entretanto, as culturas comerciais melhoradas geneticamente para aumento da produtividade acabam perdendo algumas características ligadas à eficiência da absorção de nutrientes. Em função disso, requerem altos investimentos em insumos para produzir satisfatoriamente.

A absorção de P depende também da capacidade do solo em liberar o nutriente da fase sólida, ou seja, do poder tampão do solo. Em geral, o poder tampão de P dos solos argilosos é maior do que o dos solos arenosos. Solos argilosos possuem maiores quantidades de minerais que têm a propriedade de reter P na superfície. Em virtude dessas diferenças entre os tipos de

solos, quando o diagnóstico do P é feito pelo método Mehlich I, o teor de P extraído aumenta com o decréscimo do teor de argila no sistema de interpretação de análises de solo utilizado nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo o nível de suficiência de P 6,0, 9,0, 12,0 e 21,0 mg dm⁻³, respectivamente para, ≥ 60 , 41-60, 21-40 e $\leq 20\%$ de argila.

Considerando que a implantação do PD dá-se em solos anteriormente usados com o SCC ou sob vegetação natural (campo nativo), as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004) prevêm no seu estabelecimento, aplicação dos fertilizantes através de aração e gradagem, principalmente quando os teores de P e K no solo forem muito baixos e as classes texturais forem 1, 2 ou 3. Schlindwein & Anghinoni (2000) em trabalhos realizados com o objetivo de definir a profundidade de amostragem no PD para fins de adubação de recomendação para P e K, concluíram que a adoção das recomendações do SCC para o PD não alteram a produtividade das culturas nem a disponibilidade de nutrientes acima do nível crítico, por isso no PD a amostragem até 10 cm é suficiente, já que os insumos não serão aplicados a profundidades maiores do que 10 cm e esta seria a profundidade de estabelecimento do sistema radicular das culturas..

Na literatura tem sido relatada a movimentação de P aplicado superficialmente (Kang & Yunusa, 1977; Dick, 1983). A aparente contradição entre o conceito de imobilidade do P no solo e sua distribuição no perfil se deve em parte ao fato desse conceito estar relacionado somente à fração inorgânica do P, enquanto que, segundo Pink et al. (1941), a lixiviação do P no solo ocorre predominantemente em formas orgânicas. Enquanto o P inorgânico tem sua mobilidade controlada pelo tipo e conteúdo de argilominerais e sesquióxidos de ferro e alumínio, o P orgânico apresenta movimentação livre no solo como constituinte de células microbianas e outros colóides orgânicos (Hannapel et al., 1964); embora alguns estudos (Weaver et al., 1988a; Weaver et al., 1988b) relatam a redistribuição de P inorgânico ao longo do perfil em condições especiais, como em solos arenosos com baixa capacidade de adsorção, com aplicações massivas de fontes solúveis de P e submetidos a intensas precipitações.

Gonçalves (1997) avaliando os efeitos das plantas de cobertura sobre o P do solo em um Argissolo, não encontrou diferença significativa na movimentação do P, orgânico e inorgânico, ao longo do perfil do solo. Neste estudo o autor encontrou um acúmulo de P na superfície e atribuiu esse efeito à baixa mobilidade desse nutriente no solo, às adubações superficiais e ao sistema de manejo adotado (PD). Estando as formas orgânicas concentradas na camada superficial do solo, pode-se supor que seus efeitos em profundidade são pequenos.

A tomada de decisão para a aplicação de fertilizantes fosfatados, em lavouras sob PD, é baseada na análise do solo coletada na camada 0-10 cm (CQFS, 2004). Os trabalhos de

calibração no RS e SC foram feitos com amostras de solo coletadas na camada 0-20 cm e, para o PD, foi proposto apenas um ajuste para uma camada de 0-10 cm e continuação da mesma calibração. A justificativa para tal é que os valores analíticos obtidos nessa camada de solo correspondem aos valores da camada 0-20 cm no SCC e proporcionam a manutenção da produtividade. A confiabilidade das classes de disponibilidade de P para o PD pode não ser a mesma daquela costumeiramente aceita para o SCC, pois, a profundidade de 0-10 cm considerada equivalente a de 0-20 cm do SCC pode não ser correta quando há variação dos teores de P e outros atributos químicos ou físicos da camada 10-20 cm no PD (Rheinheimer, 2004). Essa forma de avaliação da fertilidade do solo pode gerar algumas dúvidas quanto à recomendação da adubação. Segundo Rheinheimer (2004), em relação à probabilidade de resposta ao P, por exemplo, certamente há diferenças para um mesmo solo contendo a mesma disponibilidade de P na camada 0-10 cm, se num deles as condições de acidez e disponibilidade desse nutriente estiverem adequadas e o outro solo apresentar uma barreira química ao desenvolvimento das raízes abaixo desta camada. Sendo que o PD deve prover às plantas condições para o máximo crescimento radicular em profundidade, é possível que o sistema de manejo necessite ser reavaliado em determinadas condições, pois, parece pouco provável a manutenção de altas produtividades em solos cujos atributos químicos das camadas abaixo dos 10 cm não estiverem adequados às culturas, especialmente em condições de deficiência hídrica.

A absorção de P é favorecida por um sistema radicular bem desenvolvido, um alto teor de água no solo e uma grande diferença de concentração de P entre a solução mais próxima à superfície das raízes e a mais distante (Ruiz et al., 1988). Quando as condições impostas pelo meio provocam uma diminuição do crescimento radicular ocorrerá, conseqüentemente, um decréscimo da superfície de absorção (Ruiz et al., 1988), pois, sendo o P transportado por difusão, sua absorção depende da superfície radicular (Barber, 1974 apud Ruiz et al., 1988) e, mais especificamente, dos pêlos radiculares (Itoh & Barber, 1983).

Ainda, caso o teor de água no solo seja baixo, o P contido em maiores concentrações na camada superficial pode estar inacessível em função da menor difusão; pois, esta é a camada que primeiramente seca e o suprimento deste nutriente por camadas mais profundas, com maior conteúdo de água, pode ser dificultado pela deficiência do elemento ou, pela pequena superfície de absorção nestas camadas (pouca concentração de raízes). Em trabalho utilizando os mesmos valores de P disponível, pelo uso de níveis equivalentes do nutriente, Ruiz et al. (1988) observaram que houve uma diminuição da área foliar e da massa seca das raízes desenvolvidas no solo com o decréscimo do teor de umidade. Conforme os autores, a

diminuição nos parâmetros de crescimento com a diminuição do potencial matricial pode ser atribuída ao problema nutricional, decorrente do decréscimo na difusão do P, e ao efeito direto desse potencial, provocando a redução da superfície de absorção.

A localização do fertilizante fosfatado em relação às raízes das plantas também é considerada fator determinante para a absorção de P, crescimento e produtividade de muitas culturas (Borkert & Barber, 1985; Anghinoni, 1992; Silva et al., 1993). Em situações onde apenas um volume restrito do solo apresenta condições adequadas ao desenvolvimento radicular, como no caso de adubação superficial ou localizada, os resultados de pesquisa são contrastantes. Em estudo com solução nutritiva Vilela & Anghinoni (1984) demonstraram que apenas 50% das raízes se desenvolvendo em um meio adequado de P foi suficiente para atender às necessidades desse nutriente, mesmo quando a outra metade das raízes se desenvolveram em presença de Al ou deficiência de P. Em contrapartida, em trabalho com sistema de raízes divididas, crescendo em diferentes níveis de P no solo, Klepker & Anghinoni (1995) encontraram maior crescimento de raízes na fração que recebeu adubação, porém, somente em solos cujos teores do elemento encontravam-se abaixo do nível crítico. Apesar da densidade de raízes ser maior na fração adubada, não compensou a falta do nutriente para as demais frações do sistema radicular, sendo que os maiores rendimentos de matéria seca e absorção de P foram obtidos quando todas as raízes foram supridas com P.

Pode-se inferir que, a diferença nas respostas desses experimentos com raízes divididas se deve, provavelmente, a disponibilidade de água, pois, um dos experimentos foi feito em solução nutritiva e o outro em condições de solo. Esses resultados demonstram que, em condições de boa disponibilidade de água, as culturas podem produzir satisfatoriamente, mesmo que apenas um volume restrito do solo apresente condições de disponibilidade de nutrientes adequadas ao seu desenvolvimento.

2.4.1.3 Disponibilidade de potássio

A disponibilidade de K para as plantas é função das características químicas e mineralógicas do solo, razão porque há diferentes respostas nos diferentes grupos de solos. Assim solos argilosos, por exemplo, que têm maior CTC, podem receber adubações maiores de K que os solos arenosos, que têm baixa CTC. Como as reações que governam a disponibilidade são de sorção-dessorção, os grupos funcionais responsáveis pela carga no solo também exercem importante papel. Trabalhos de Silva & Meurer (1988) e Wiethölter (1996)

demonstraram que a resposta das culturas ao K depende da relação entre o K extraído e a CTC do solo. Por este motivo, as novas recomendações da CQFS (2004) adotaram três classes de CTC₇ para interpretação dos teores de K no solo, em que os níveis de suficiência são, portanto, de 45, 60 e 90 mg dm⁻³, para solos com CTC₇ ≤5,0, entre 5,0 e 15,0 e >15,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente, embora Borkert (1993) e Scherer (1998) postulam níveis menores de K para solos argilosos.

No levantamento da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul, Rheinheimer et al. (2001), destacam que até 60% das amostras apresentavam teores de K acima do nível de suficiência. Na região de solos mais argilosos o percentual foi próximo a 70%, atingindo até 85% se incluirmos valores iguais ou maiores a 60 mg kg⁻¹, que são ainda mais altos que os indicados por Borkert et al. (1993) e Scherer (1998). Observa-se que os teores de K nos solos do Rio Grande do Sul, sumarizados por Rheinheimer et al. (2001) pouco se alteraram desde 1981, passando, os teores mais altos, de 63% para 73%, principalmente se for considerado a quase obrigatoriedade do uso de K nas recomendações de adubação (CFS, 1994; CQFS, 2004). Ainda hoje, na maioria das lavouras do RS, ainda são observadas aplicações maiores que a recomendação, pelo uso de fórmulas muito concentradas em K₂O (Silveira, 2002). Isto ocorre devido à não observância das recomendações técnicas, pressão comercial e pela dúvida em não se aplicar fertilizantes potássicos quando o solo apresentar níveis de K acima do nível de suficiência, o que pode sugerir a revisão dos parâmetros de suficiência para potássio, pois em alguns trabalhos se têm observado respostas à adubação, mesmo estando o solo com teores acima do nível de suficiência (Kist, 2005). Silveira (2002), em trabalho realizado num Latossolo com teores de K nas camadas 0-5 e 5-10 cm de 172 e 112 mg L⁻¹ respectivamente, observou aumento na produtividade de grãos com a aplicação de pequenas doses, em relação ao tratamento sem aplicação. Apesar disso, na maioria das vezes, as culturas não respondem à adição de K nestas condições de solo, como observado nos trabalhos de Lantmann et al. (1997), ou somente a adição e não a doses, como relata Brunetto et al. (2005). Por isso é difícil estabelecer a condição ideal de K no solo para assegurar a sua disponibilidade, já que ela depende das características mineralógicas dos solos (Bortoluzzi et al., 2005) e as respostas às adições são erráticas, principalmente no PD, onde há ciclagem dos nutrientes contidos nos resíduos orgânicos e que são liberados durante a sua decomposição, que coincide com o período de desenvolvimento da cultura comercial.

2.4.1.4 Matéria orgânica do solo (MOS)

O aumento do MOS pode ser considerado como um dos melhores benefícios do PD, por causa de seu impacto em outros indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo. A função física da MOS se refere à melhoria da estrutura do solo e, conseqüentemente aeração, drenagem e retenção de umidade. Biologicamente, sua função é fornecer carbono como fonte de energia para os microrganismos, promovendo a ciclagem de nutrientes. Sua função química é manifestada por sua capacidade de interagir com metais, óxidos e hidróxidos metálicos, atuando como trocador de íons (CTC) e na estocagem de nitrogênio, fósforo e enxofre (Prakash & McGregor, 1983 apud Schnitzer, 1991). Outra característica a ser destacada é a liberação de ácidos orgânicos durante sua decomposição, que pode complexar o Al monomérico ou se ligar às cargas elétricas dos óxidos de ferro e alumínio, diminuindo assim, os sítios de adsorção de P (Haynes & Mokolobate, 2001).

A geração de cargas elétricas pela MOS, assim como pelos minerais, é uma de suas características mais importantes, pois são balanceadas com cátions e ânions que se encontram na solução, constituindo o reservatório dos nutrientes no solo. Quando a ligação entre esses elementos e a superfície dos colóides envolve interações de natureza eletrostática, é considerada reversível, pois são ligações relativamente fracas. Dessa forma, um determinado íon retido pode ser trocado estequiometricamente por outro, ou seja, por íons com carga numa proporção equivalente ao que estava retido, de modo a manter a eletroneutralidade do sistema (Silva et al., 2000b). Como exemplo de íons que fazem esse tipo de ligação pode-se citar: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , NO_3^- , NH_4^+ e K^+ . Já, quando há troca de ligantes, ocorre combinação de ligações covalentes e iônicas (Meurer et al., 2000), cuja energia de ligação é forte, podendo afetar a disponibilidade dos nutrientes às plantas. São exemplos de íons que fazem esse tipo de ligação: Cu^{+2} , Zn^{+2} e H_2PO_4^- .

No sistema de recomendação, o teor de MOS é considerado nas recomendações de adubação nitrogenada, como também a expectativa de rendimento e a cultura anterior. O teor de MOS é dividido em três classes, sendo, $<2,5$, $2,5-5,0$ e $\geq 5,0\%$ (CQFS, 2004). Quanto maior o teor de MOS de um solo, menor a quantidade de fertilizantes nitrogenados a ser adicionado às culturas, considerando as culturas de interesse e de cobertura.

O conteúdo de MOS pode ser um atributo associado ao manejo que é dado ao solo. Práticas de manejo do solo inadequadas são responsáveis pela diminuição da MOS, alterando

suas propriedades, facilitando a erosão com conseqüente decréscimo da produção das culturas e promovendo poluição ambiental (Peixoto, 1997).

Alguns levantamentos foram realizados com o objetivo de acompanhar as alterações da fertilidade do solo em função das práticas de manejo adotadas (Drescher, 1991; Rheinheimer et al., 2001). Apesar de as faixas de distribuição percentual da MOS e a profundidade de amostragem terem sofrido alterações, é possível traçar algumas comparações entre levantamentos realizados. Comparando-se os dados obtidos em 1981 com os de 1988 (Drescher, 1991), observa-se uma drástica diminuição (19,7 para 5,9%) no percentual de solos enquadrados na classe alta e aumento (27,1 para 40,5%) no percentual da classe baixa. Os resultados são atribuídos à mobilização do solo no sistema de cultivo convencional, à erosão da camada superficial e ao aumento na utilização de áreas de solos com baixos teores originais de MOS. Comparando-se o levantamento feito em 1988 com o de 2000 (Rheinheimer et al., 2001), observa-se uma reversão de tendências, ou diminuição no percentual de amostras enquadradas nas classes com baixos teores e aumento no percentual de amostras com teores médios e altos. Segundo os autores, boa parte dos solos que teve um manejo inadequado no período de 1981 a 1988, está recuperando os seus teores de MOS. Também deve ser destacado que estes levantamentos não fazem distinção entre grupos de solos e os dados assim sumarizados não consideram os teores de argila do solo, que têm forte relação com o teor de MOS, por isso a inclusão de solos mais arenosos na agricultura também podem ter contribuído para acentuar diferenças entre 1981 e 1988.

2.4.2 Indicadores físicos

As condições físicas do solo exercem importante papel no crescimento radicular, pois, da mesma forma que a barreira química, as raízes de plantas que crescem em solos com impedimento de ordem física, como a compactação, apresentam modificações morfológicas, que resultam no aumento na espessura do córtex, reduzindo a sua superfície, o que interfere na absorção de água e nutrientes (Taylor & Brar, 1991; Bengough et al., 1997).

A compactação é um processo que pode ocorrer tanto na superfície como no subsolo, resultante do histórico de tensões recebidas em uma área, através da mecanização ou pelo pisoteio animal. A principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo, semeadura, tratos culturais e colheita, principalmente quando o teor de umidade é inadequado. A compactação superficial é causada basicamente pela pressão de

inflação de ar dos pneus e a compactação subsuperficial pelo peso por eixo (Reichert et al., 2003). Em muitos trabalhos se têm verificado reduções significativas na produção das culturas, dentre elas a soja, em função da compactação do solo (Secco, 2003; Streck, 2003).

Existe controvérsia sobre que atributos utilizar para considerar se um solo está compactado, porém, há concordância no sentido de que a infiltração de água, macroporosidade, densidade, porosidade total e resistência à penetração indicam o estado em que a estrutura do solo se encontra e servem como indicadores do seu estado de compactação (Reichert et al., 2003). Dentre estes indicadores, a resistência do solo à penetração tem sido o atributo priorizado em trabalhos que estudam a compactação do solo (Imhoff et al., 2000), por estar diretamente relacionada ao crescimento radicular das plantas (Bengough & Mullins, 1990; De Maria et al., 1999).

2.4.2.1 Resistência do solo à penetração de raízes (RP)

A RP descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001). Considerável atenção tem sido empregada pela pesquisa a fim de determinar os valores críticos de RP determinados por penetrômetros, acima dos quais ocorre restrição ao crescimento radicular. Para a soja, os valores de RP crítica variam entre os autores. Cintra & Mielniczuk (1983), trabalhando em Latossolo argiloso, encontraram restrição às raízes com valores de RP de 1,08 MPa, enquanto Rosolem et al. (1994), trabalhando em Latossolo arenoso, encontraram redução de 50% no crescimento radicular quando a camada compactada apresentava RP de 0,69 MPa e total impedimento acima de 2,0 MPa. Apesar desta variação, o valor de 2 MPa tem sido aceito como valor crítico, impeditivo ao crescimento radicular, à absorção de água e nutrientes e à produção das culturas (Taylor et al., 1966). Este valor de RP é maior que as máximas pressões que as raízes podem aplicar, determinadas por Misra et al. (1986) como sendo entre 0,7 e 1,3 MPa na direção axial. A diferença pode ser atribuída à capacidade das raízes de se contorcer quando encontram obstáculos, à menor fricção entre a raiz e o solo pela exudação de substâncias lubrificantes e à capacidade das raízes de exercer pressões radiais. Outra possibilidade é que, sob PD, a continuidade de poros formados por raízes que se decompõem e por minhocas é favorecida, facilitando o crescimento radicular nestes espaços (Camargo, 1983).

O impedimento físico ao crescimento das raízes tem mostrado estreita interação com o crescimento das plantas, uma vez que as raízes parecem dispor de mecanismos de detecção dessas condições, enviando sinais à parte aérea que controlam o crescimento (Masle & Passioura, 1987). No entanto, a presença de barreira física pode não ser necessariamente uma característica adversa ao crescimento e produtividade das culturas; isto vai depender da fertilidade do solo, da distribuição das raízes, dos teores de umidade do solo, da textura e do teor de MOS (Becker, 1984).

O reconhecimento da ocorrência de interações entre os atributos químicos e físicos no perfil do solo e de que as culturas estão sujeitas às suas interferências, demonstra a necessidade de quantificá-los na avaliação da influência das práticas de manejo, pois exercem reflexos na qualidade e no potencial produtivo do solo. Alguns levantamentos foram realizados a fim de acompanhar a evolução dos índices de fertilidade do solo, entretanto, não são considerados o tipo de solo, o manejo, a cultura e a camada amostrada e não há trabalhos similares com parâmetros físicos. Como a produção das culturas é resultado da associação de propriedades físicas e químicas do solo, além das interferências climáticas, o diagnóstico da situação destas propriedades sob algumas condições de manejo podem ser importantes para orientar futuros trabalhos de investigação e pesquisa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção dos locais de coleta

As amostras foram coletadas no ano agrícola 2004/05, em lavouras conduzidas sob PD consolidado, ou seja, com tempo de implantação do sistema superior a cinco anos, e cuja cultura principal era a soja. Para seleção dos locais de amostragem, buscou-se junto aos órgãos de assistência ao produtor rural (EMATER, Secretaria da Agricultura) ou pessoas ligadas ao setor produtivo de alguns dos principais municípios produtores de soja do Rio Grande do Sul (IBGE, 2004), informações a cerca de propriedades que apresentassem os critérios citados acima e com interesse na realização do trabalho, independentemente da área cultivada.

Não foram coletadas amostras em lavouras com aplicação superficial de fertilizantes e corretivos nas safras 2003/04 e 2004/05, período de realização do trabalho.

Foram coletadas 140 amostras de solo de 20 lavouras de soja sob PD consolidado, localizadas nos municípios de Capão Bonito do Sul, Palmeira das Missões, Giruá, Cruz Alta, Campinas do Sul e Santa Bárbara do Sul (Anexo A). Os dados referentes ao município, tipo de solo, teor de argila e número de amostras dos locais de coleta são apresentados na tabela 1. As coordenadas geográficas e o histórico de manejo para cada local amostrado são apresentados, respectivamente, nos anexos B e C.

Tabela 1 – Locais de coleta, município, tipo de solo, teor de argila das lavouras amostradas e número de amostras coletadas em cada município

Locais de coleta	Município	Tipo de solo ¹	Teor de argila (%)	Nº de amostras
1, 2 e 3	Capão Bonito do Sul	Latossolo Bruno	64 - 73	23
4a, 4b e 5	Palmeira das Missões	Latossolo Vermelho	58 - 68	20
6 e 7	Giruá	Latossolo Vermelho	69 - 76	16
8, 9 e 10	Cruz Alta	Latossolo Vermelho	43 - 51	19
11 a 17	Campinas do Sul	Latossolo Vermelho	51 - 61	42
18, 19 e 20	Santa Bárbara do Sul	Latossolo Vermelho	37 - 43	20

Fonte: ¹EMBRAPA (1999).

3.2 Coleta e preparo das amostras

Para a coleta das amostras de solo em cada propriedade, a área foi dividida em glebas homogêneas, observando-se a similaridade superficial do solo, a topografia e o histórico de manejo da área. Em cada gleba as amostras foram coletadas, seguindo os procedimentos descritos no manual de adubação e de calagem (CQFS, 2004).

As amostragens foram realizadas no período de março de 2004 a março de 2005, independentemente do estágio de desenvolvimento da cultura. Para cada gleba foram abertas trincheiras nas entrelinhas da cultura, em profundidade superior a 30 cm, sendo retirada uma camada vertical de 5 cm com pá de corte, na largura da pá e em extratos de 10 cm. Cada trincheira foi considerada uma amostra. As porções de solo correspondentes a cada amostra foram recolhidas, destorroadas, acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório. Foram então secas em estufa a 55°C até peso constante, moídas e tamisadas em peneira de 2 mm, e o peneirado armazenado em potes plásticos de 250 cm³. Cada amostra foi analisada separadamente para evitar superestimação dos teores de nutrientes, sendo que, a amostra que apresentava valores muito superiores às demais era descartada.

Em cada ponto de coleta foram determinadas a umidade do solo e a resistência à penetração (RP). A RP foi feita em todas as propriedades amostradas para análise química, com exceção dos locais 10, 11, 12 e 13.

3.3 Variáveis analisadas e métodos analíticos

Os parâmetros químicos avaliados foram o pH em água (relação 1:1), o índice SMP, os teores de fósforo e de potássio, extraídos por Mehlich I (relação 1:10) e alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, extraídos por KCl 1M. Também foi determinado o teor de argila das amostras. Foram realizadas três repetições de laboratório para cada amostra analisada e os procedimentos analíticos seguiram a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995), com exceção da quantificação do fósforo que seguiu o método de Murphy & Riley (1962). A partir destes dados foram calculadas a soma de bases, a CTC efetiva (CTC_{ef}), CTC a pH 7,0 (CTC₇), H+Al e a saturação por bases e por alumínio.

O teor de carbono foi determinado pelo método de Nelson & Sommers (1996) com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,4N) por titulação com sulfato ferroso amoniacal e expresso em teor de matéria orgânica utilizando fator de 1,724.

A resistência à penetração de raízes foi quantificada com penetrômetro digital, modelo Remik CP 20 Ultrasonic Cone Penetrometer, com armazenamento eletrônico dos dados e ponta cônica com ângulo de penetração de 30° . As leituras foram realizadas a cada 1,5 cm de profundidade, com três repetições de leitura em cada ponto de coleta. As medidas obtidas da superfície do solo até 1,5 cm de profundidade foram descartadas. Tal profundidade é considerada por Bradford (1986) como profundidade crítica de penetração. A umidade gravimétrica do solo no momento da avaliação da resistência à penetração foi determinada nas amostras de solo coletadas para as análises químicas, nas mesmas profundidades.

3.4 Organização dos dados

A partir dos dados obtidos foram calculadas as médias para cada parâmetro analisado, as quais foram transformadas para o formato Access para a organização e a classificação de bancos de dados. Neste programa foi calculado o percentual do número de amostras compreendidas dentro de faixas estabelecidas para cada variável estudada, baseadas no manual de adubação e de calagem (CQFS, 2004).

O pH do solo foi classificado em quatro faixas ($\leq 5,0$, 5,1-5,4, 5,5-6,0 e $\geq 6,0$). Os valores de saturação com bases foram agrupados nas faixas <45, 45-64, 65-80 e >80% e a saturação com alumínio nas faixas <1, 1-10, 10-20 e >20%. Os teores de cálcio foram agrupados nas faixas $\leq 2,0$, 2,1-4,0 e $> 4,0$ $cmol_c dm^{-3}$ e de magnésio nas faixas $\leq 0,5$, 0,6-1,0 e $> 1,0$ $cmol_c dm^{-3}$.

Os teores de matéria orgânica do solo foram agrupados nas faixas <2,5, 2,6-5,0 e >5,0%. Os valores percentuais de argila foram classificados nas faixas ≤ 20 , 21-40, 41-60 e $\geq 60\%$, correspondendo às classes texturais 4 a 1, respectivamente. Os teores de fósforo foram classificados primeiramente em quatro faixas de acordo com as classes texturais e, após, foram agrupados em cinco classes de disponibilidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). Os teores de potássio foram agrupados primeiramente em três faixas de acordo com as classes de CTC_7 ($> 15,0$, 5,1-15,0 e $\leq 5,0$ $cmol_c dm^{-3}$) e, posteriormente, em cinco classes de disponibilidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto).

Além dessa classificação, foi realizada uma análise de agrupamento dos dados que permitiu estabelecer relações entre os parâmetros da acidez e a disponibilidade de nutrientes. Foram agrupados os dados de saturação por bases x disponibilidade de P e K, saturação por Al x disponibilidade de P e K e pH x saturação por bases.

Para obter a distribuição de frequência dos valores de RP nas mesmas profundidades de amostragem utilizadas para as análises químicas e, com o objetivo de amenizar as diferenças de umidade e do tipo de solo entre os locais amostrados, ao máximo valor de RP encontrado em cada local foi atribuído valor 1,0, sendo os demais valores relativos a este. Foram estabelecidas quatro classes de RP relativa, sendo, <0,25, 0,25-0,50, 0,50-0,75 e 0,75-1,0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em quatro partes, considerando a) a situação da acidez medida pelo pH, saturação por bases e saturação por alumínio, b) a disponibilidade de fósforo (P) e de potássio (K), c) os teores de matéria orgânica do solo (MOS) e d) informações sobre resistência do solo à penetração (RP). A discussão considerará também os agrupamentos entre os diferentes parâmetros, na tentativa de associar as situações que ocorrem com mais frequência para os parâmetros da acidez e para a disponibilidade de fósforo e potássio.

4.1 Parâmetros da acidez

Os resultados de estimativa dos parâmetros da acidez do solo, pH, saturação por bases e saturação por alumínio, são apresentados na Tabela 2. Observa-se que, na camada superficial (0-10 cm), grande parte das amostras apresentam condições consideradas satisfatórias, conforme padrões adotados para recomendação de calagem no RS, para manter um ambiente adequado ao crescimento radicular e assegurar a produtividade das culturas (CQFS, 2004), embora 26% delas possuem saturação por bases inferior a 65%, 39% apresentam pH ligeiramente menor que 5,5 e 5% têm pH considerado impróprio (Tabela 2). Estas limitações se intensificam nas camadas inferiores (subsuperfície) onde, na camada 10-20 cm, em torno de 20% das amostras apresentaram subsuperfície extremamente ácida, ou seja, pH inferior a 5,0, saturação por Al acima de 20% e saturação por bases menor que 45%. Os dados da camada 20-30 cm apresentam o mesmo comportamento da camada 10-20 cm, porém, com maior número de amostras nas faixas de elevada acidez. A esta camada é dada menor importância durante a discussão dos dados, em função de ser menos influenciada por práticas de manejo e, também, devido à maior concentração do sistema radicular da soja nos primeiros 20 cm (De Maria et al., 1999).

Na distribuição de frequências para pH em água em função do nível de suficiência, na camada 0-10 cm (Figura 1), em mais da metade das amostras o pH encontra-se acima de 5,5, valor considerado adequado pela CQFS (2004), e apenas 5% com pH menor que 5,0. Isto mostra que, provavelmente, tenha ocorrido maiores cuidados com a acidez dos solos nos últimos anos e uso efetivo de corretivos na camada superficial do solo que, associado às menores perdas por erosão e, o possível maior efeito residual do calcário no PD, tem

conduzido à minimização desta dificuldade, inclusive com a provável eliminação, já que as áreas amostradas encontram-se em lavouras sob PD entre 5 e 15 anos e com freqüentes aplicações de calcário.

Tabela 2 – Distribuição percentual das faixas de pH, saturação por alumínio e saturação por bases em três profundidades de amostragem

pH em água	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
 %		
<5,0	05,0	29,0	52,0
5,1 - 5,4	39,0	30,0	24,0
5,5 - 6,0	35,0	27,0	18,0
>6,0	21,0	14,0	06,0
Sat. Al (%) %		
>20	02,0	20,0	38,0
10 - 20	03,0	14,0	21,0
1 - 10	38,0	37,0	26,0
<1	57,0	29,0	15,0
Sat. Bases (%) %		
<45	03,0	20,0	38,0
45 - 65	23,0	29,0	29,0
65 - 80	44,0	37,0	28,0
>80	30,0	14,0	05,0

De certa forma, estes dados concordam com os encontrados por Rheinheimer et al. (2001) onde, das 168.200 amostras analisadas, 55,4% apresentaram pH superior a 5,5. Cabe salientar que este levantamento utilizou-se da sistematização de resultados analíticos de amostras de solos processadas pelos laboratórios da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos – ROLAS, em que não é possível a distinção do sistema de manejo, cultura e da profundidade de coleta das amostras utilizadas na classificação, indicando que a comparação dos dados com os obtidos por este diagnóstico deve ser cautelosa.

A análise dos dados obtidos para as demais camadas estudadas demonstra que 59% na camada 10-20 cm e 76% das amostras da camada 20-30 cm encontram-se com pH menor que

5,5 (Figura 1). Estes dados permitem inferir que, há um aumento da acidez com a profundidade, sendo que, 15 e 32% só apresentam pH menor que 5,5, respectivamente, nas camadas 10-20 e 20-30 cm, indicando correção efetiva somente na camada superficial, provavelmente em função da aplicação dos corretivos na superfície do solo. Contudo, 44% das amostras coletadas apresentam pH inferior a 5,5 desde a superfície do solo até a profundidade amostrada. Isto se deve, possivelmente, à não observância das recomendações técnicas por ocasião da implantação do PD. Muitos agricultores simplesmente pararam de revolver o solo devido à viabilidade da utilização do solo sem necessidade de mobilização, em função da oferta de máquinas, de insumos e da disponibilidade de crédito.

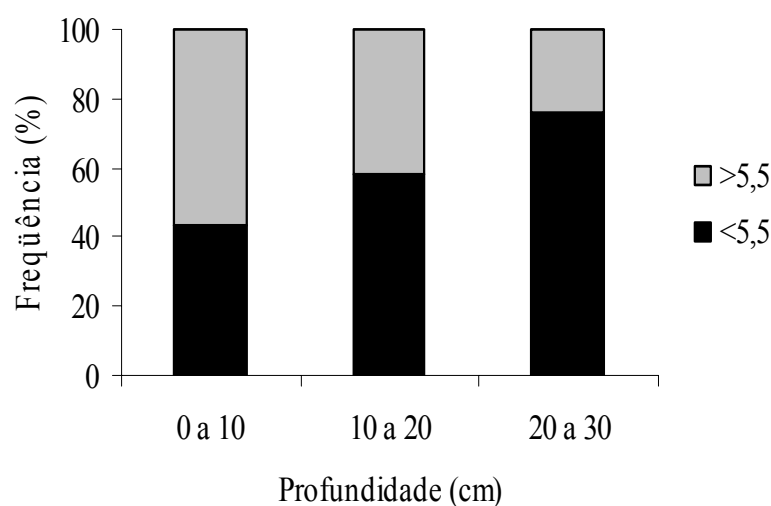


Figura 1 - Distribuição de frequência do pH nos solos analisados em três profundidades de amostragem.

Trabalhos realizados com o objetivo de estudar os efeitos do pH do solo mostram que não houve uma relação direta entre a penetração de raízes e o pH dos solos analisados, tendo relação coerente com o impedimento ao crescimento radicular apenas a variável atividade do alumínio (Adams & Lund, 1965). O pH é um parâmetro qualitativo, pois reflete as reações do solo com o corretivo e estabelece um rearrajamento de propriedades que, nem sempre, atingem os valores preconizados. Por isso, não há valores críticos para o crescimento radicular e a produtividade das culturas, mas situações em que pode ocorrer efeitos deletérios da acidez associadas a pH menor que 5,5. Dependendo do seu valor, a forma iônica de moléculas ou

espécies iônicas presentes na solução do solo é modificada, como também, a quantidade de cargas elétricas.

Devido às dificuldades em se estabelecer valores críticos de pH em água, as recomendações da CQFS (2004) indicam o valor de 5,5 como adequado, pois, em valores menores são favorecidas as espécies tóxicas de Al e, inclusive, os nutrientes podem ter sua disponibilidade afetada, enquanto que, acima deste valor, são proporcionadas condições para o desenvolvimento de cargas elétricas negativas em solos de carga variável, o que contribui para o aumento da CTC. Mas mesmo assim, a tomada de decisão leva em consideração também a saturação por Al e a saturação por bases.

Os dados da Tabela 3 demonstram que a maioria das amostras na camada 0-10 cm apresentam saturação por bases maior que 65% quando o pH encontra-se acima de 5,5. Da mesma forma, um terço delas assim se apresentam na camada 10-20 cm e somente um quinto na camada 20-30 cm. Quando se considera valores de tomada de decisão para reaplicação de corretivos, pH menor que 5,5 e saturação por bases também menor que 65%, 21% na camada superficial necessitariam de nova aplicação de calcário, 42% na camada 10-20 cm e 64% na camada 20-30 cm. Também ocorrem resultados com pH acima de 5,5, mas com saturação inferior a 65% em todas as camadas, embora apresentem menor frequência. Contudo, nem sempre valores de pH inferiores a 5,5 apresentam saturação por bases menor que 65%. Dos dados analisados 22% das amostras da camada 0-10 cm apresentam pH menor que 5,5 e saturação por bases maior que 65%. Nas camadas 10-20 e 20-30 cm 16 e 12% das amostras, respectivamente, apresentam o mesmo comportamento. Isto pode ser atribuído ao teor de MOS destes solos que se situa entre 2,5 e 5,0, mesmo nas camadas abaixo de 10 cm. A MOS pode gerar cargas e contribuir para a retenção dos nutrientes mesmo em solos extremamente ácidos (Peixoto, 1997).

Tabela 3 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento entre saturação por bases e pH em água, em três profundidades de amostragem

pH em água	0 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 30 cm	
	< 5,5	≥ 5,5	< 5,5	≥ 5,5	< 5,5	≥ 5,5
 %					
Sat. Bases < 65	21,0	05,0	42,0	07,0	64,0	03,0
Sat. Bases ≥ 65	22,0	52,0	16,0	35,0	12,0	21,0

Embora exista uma esperada relação entre aumento de pH com aumento da saturação por bases e redução do Al trocável, a distribuição percentual das amostras em intervalos de saturação por Al (Figura 2) indica efetiva correção da acidez na camada superficial do solo, pois, na camada 0-10 cm, 95% das amostras apresentam saturação inferior a 10%, enquanto que apenas 56% e 74% possuem, respectivamente, pH maior que 5,5 e saturação por bases acima de 65% (Figuras 1 e 3). Na camada 10-20 cm, 34% apresentam saturação por Al maior que 10% e, destas, 20% com saturação maior que 20%. Na camada 20-30 cm o percentual de amostras enquadradas em faixas de saturação por Al maior que 10% aumenta para 59%, das quais 38% acima de 20% de saturação por Al.

Estas concentrações de Al encontradas abaixo dos 10 cm podem caracterizar uma possível barreira química que implicaria na proliferação de raízes muito próximo da superfície do solo, como observado por Triplett Jr. & Van Doren Jr. (1969) e Kang & Yunusa (1977) em solos sob PD. Nesta situação, a produtividade das culturas não tem sido afetada em condições de boa disponibilidade de água. Contudo, em cultivos não-irrigados sob condições climáticas desfavoráveis, o pouco aprofundamento das raízes pode dificultar a expressão do potencial genético da cultura (Doss & Lund, 1975; Gonzalez-Erico et al., 1979; Silva et al., 2000a; Sousa, 2004).

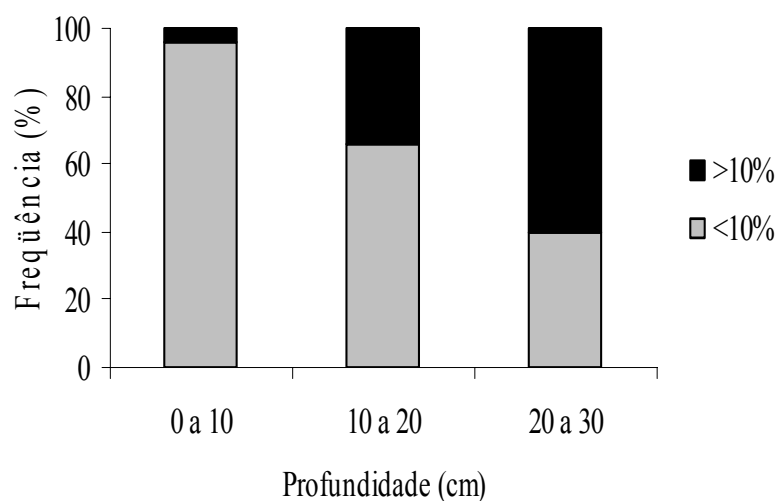


Figura 2 - Distribuição de frequência da saturação por alumínio nos solos analisados em três profundidades de amostragem.

A saturação da CTC₇ por bases também se concentra na superfície do solo, sendo que, na camada de 0-10 cm 74% das amostras enquadraram-se nas faixas com saturação acima de 65% e, nas camadas 10-20 e 20-30 cm respectivamente, 51 e 33% (Figura 3). Isto ocorre devido à disposição dos corretivos e fertilizantes na superfície do solo, ou na profundidade do sulcador da máquina de plantio. Outra causa da concentração das bases nesta camada é a deposição de resíduos orgânicos na superfície do solo que, através de sua decomposição, participam da ciclagem de nutrientes (Testa et al., 1992; Capurro, 1999).

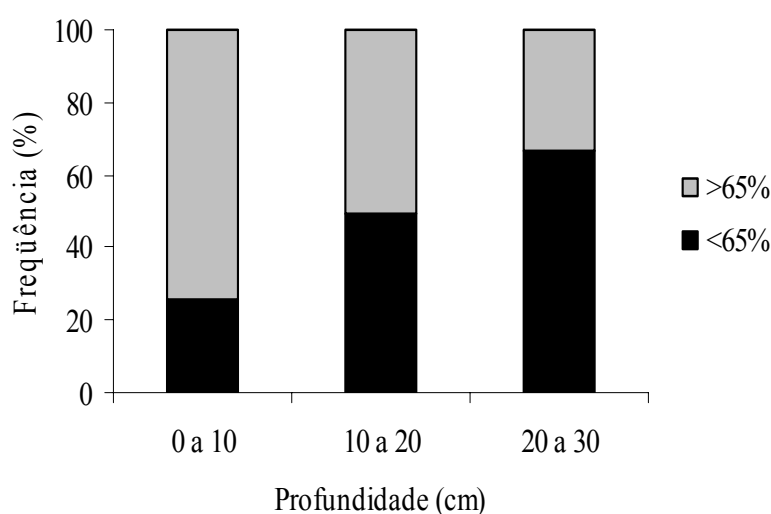


Figura 3 - Distribuição de frequência da saturação por bases nos solos analisados em três profundidades de amostragem.

As condições de saturação por bases baixa e/ou condições de pH baixo e saturação por Al alta na subsuperfície proporcionam maiores dificuldades de manejo, pois o PD não prevê a incorporação dos corretivos e a eficiência na redução da acidez nas camadas subsuperficiais pela aplicação superficial dos corretivos não é conclusiva, pois há casos em que não se observa nenhum efeito na subsuperfície (Pöttker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Moraes, 2005) e, em outros o efeito do calcário em profundidade é muito rápido (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 2003; Caires et al., 1999; Caires et al., 1998); porém poucas são as situações em que há mudança de parâmetros de acidez em profundidade com relevância agrônômica (Kaminski et al., 2005), como esperado nas aplicações de calcário. Em geral, as diferentes respostas à aplicação superficial estão atreladas à textura, à acidez potencial, aos teores de nutrientes, especialmente P, e às condições físicas dos solos estudados. A maior

possibilidade de correção da acidez subsuperficial é com a incorporação dos corretivos, todavia, esta técnica requer equipamentos adequados, elevado requerimento de energia (Vitti & Malavolta, 1985) e, ainda, provoca a desestruturação do solo e acelera a decomposição do MOS. Por esse motivo, nas áreas cujas amostras apresentam acidez subsuperficial intermediária, a calagem superficial pode constituir-se a forma viável de correção, pois mesmo que seus efeitos sejam menos pronunciados, qualquer contribuição na elevação da saturação com bases ou diminuição da atividade de Al na subsuperfície é importante para amenizar a possível barreira ao crescimento radicular, desde que sejam mantidas características físicas adequadas, elevado aporte de material orgânico e teores suficientes de nutrientes.

Em contrapartida, onde há elevada acidez em subsuperfície é pouco provável a sua correção efetiva pela adição superficial de insumos, mesmo após longo tempo sob PD, porque se trata de solos com teores de argila superior a 30%, sendo que 40% das áreas amostradas apresentaram mais de 60% e em todos eles são encontrados teores médios a altos de MOS. Por isso trata-se de solos com maior tendência a formar impedimentos físicos (Moraes et al., 1995) e com elevada acidez potencial, o que dificulta o avanço da frente de neutralização às camadas mais profundas. Nestas áreas as práticas de manejo devem ser reavaliadas, já que a aplicação de corretivos na superfície do solo pode não contribuir satisfatoriamente para a solução destas dificuldades.

Nas situações de elevada acidez subsuperficial é provável que, em anos com boa disponibilidade hídrica, a produtividade das culturas seja elevada, em função de que as raízes não necessitam se aprofundar em busca de camadas com maior umidade, nem tampouco de nutrientes, pois a colocação dos fertilizantes pelas semeadoras ocorre em torno dos cinco centímetros de profundidade e a translocação dos mesmos até as raízes é facilitada em altos teores de água disponível. Porém, em períodos de déficit hídrico, condições de subsuperfície inadequadas comprometem o desempenho das culturas em função do impedimento químico ao aprofundamento radicular, o que limita a área de exploração do solo tornando mais severo o estresse hídrico.

Isto foi observado por Doss & Lund (1975) em estudos conduzidos com algodão irrigado e não-irrigado, durante três anos de avaliação, onde o rendimento de grãos e a massa seca da cultura não foram afetados pelas condições de subsolo ácido na safra em que não houve déficit hídrico ou em solo irrigado; porém, nas áreas não-irrigadas as variáveis analisadas apresentaram incrementos correlacionados à elevação do pH do solo. Da mesma forma, Gonzalez-Erico et al. (1979) quantificaram a água utilizada pelas plantas de milho em

camadas estratificadas e o efeito sobre a cultura em um curto período de deficiência hídrica em dois tratamentos de incorporação de calcário, na camada 0-15 e 0-30 cm. Os autores observaram que, onde o corretivo foi incorporado até 30 cm houve o dobro de proliferação de raízes na camada 15-30 cm e maior diminuição do conteúdo de água, indicando a maior absorção pelas plantas deste tratamento do que com a incorporação a 15 cm. Conseqüentemente, as plantas resistiram por mais tempo à falta de água e a produção de grãos foi significativamente mais elevada. Os autores atribuem os resultados à neutralização do Al tóxico, ao aumento nos teores de magnésio e à maior utilização de água armazenada em camadas mais profundas (15-30 cm). Resultados semelhantes foram encontrados para o algodão sobre um Latossolo Vermelho-Escuro, onde os rendimentos da cultura foram incrementados quando o calcário foi incorporado a 25 cm de profundidade do que somente até 10 cm (Mikkelsen et al., 1963 apud Gonzalez-Erico et al., 1979).

Portanto, a neutralização da acidez do solo, na implantação do PD, deve ser realizada na maior profundidade possível, como recomenda a CQFS (2004), para que não ocorram limitações pela acidez em subsuperfície e, sendo assim, a aplicação na superfície do solo seja satisfatória. Do contrário, pode ocorrer impedimento ao aprofundamento das raízes, o que dificulta a obtenção de água pelas plantas em períodos com deficiência hídrica. Além disso, a redução da superfície de absorção diminui o acesso aos nutrientes, em especial, P e K que, dentre os nutrientes essenciais, são os que recebem maior atenção da pesquisa, em função de sua importância para as plantas e disponibilidade condicionada às condições de solo e manejo.

4.2 Disponibilidade de fósforo e de potássio

Os dados de distribuição percentual das amostras em faixas de disponibilidade para P e K, apresentados na Tabela 4, mostram que, semelhante aos parâmetros da acidez, na camada superficial a disponibilidade de nutrientes pode ser considerada satisfatória, estando as amostras concentradas predominantemente nas faixas de disponibilidade “alto” e “muito alto”. Contudo, apresenta limitações nas camadas subsuperficiais, especialmente na disponibilidade de fósforo, pois grande parte das amostras enquadrou-se nas faixas de disponibilidade abaixo da considerada adequada.

Na Figura 4 observa-se os dados de P em função do seu nível de suficiência. Na camada 0-10 cm em torno de 70% das amostras encontram-se acima do nível de suficiência, enquanto que, apenas 25% das amostras na camada 10-20 cm e 1% na camada 20-30 cm,

atingem este nível. Esta concentração de P na camada superficial pode ser justificada pela aplicação superficial, ou incorporação dos fertilizantes na profundidade de semeadura, criando um gradiente nas diferentes camadas do solo. Isto é ainda mais acentuado quando não se procede a incorporação da adubação corretiva, que faz parte das recomendações técnicas para implantação do PD, as quais prevêm aplicação dos nutrientes por aração e gradagem, principalmente quando os teores de P no solo forem muito baixos e as classes texturais forem 1, 2 ou 3 (CQFS, 2004).

Tabela 4 – Distribuição percentual das amostras em classes de disponibilidade de potássio e fósforo em três profundidades de amostragem

	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Fósforo %		
Muito Baixo	03,0	28,0	81,0
Baixo	09,0	35,0	17,0
Médio	19,0	13,0	01,0
Alto	33,0	11,0	01,0
Muito Alto	36,0	14,0	00,0
Potássio %		
Muito Baixo	00,0	01,0	20,0
Baixo	06,0	31,0	45,0
Médio	03,0	17,0	09,0
Alto	34,0	40,0	24,0
Muito Alto	57,0	11,0	02,0

Quando apenas uma porção do solo é suprida suficientemente com P, em geral, ocorre maior densidade de raízes na fração adubada e, embora ocorra redistribuição do nutriente na planta, ela pode não ser suficiente às partes que não têm acesso a ele, em especial quando o conteúdo de água do solo é baixo, como observado por Ruiz et al. (1988) e Klepker & Anghinoni (1995). Os maiores rendimentos de matéria seca e aumento da utilização de P têm sido obtidos quando todas as raízes são supridas com P (Novais et al., 1985; Anghinoni, 1992; Klepker & Anghinoni 1996; Barreto & Fernandes, 2002), exceto quando os teores no solo encontram-se acima do nível de suficiência (Klepker & Anghinoni, 1995). Quando há boa

disponibilidade hídrica as culturas podem produzir satisfatoriamente, mesmo que apenas um volume restrito de raízes se desenvolva em um meio com condições de disponibilidade de nutrientes adequadas (Vilela & Anghinoni, 1984).

Cabe salientar também que mais de um terço dos locais amostrados apresentam teores de P “muito alto” na camada superficial (Tabela 4), um indicativo de aplicações massivas de adubos fosfatados nesta camada. Isto pode ocasionar a saturação da capacidade de retenção de P no solo, facilitando seu arraste com a água do deflúvio, atingindo locais de acumulação, com forte possibilidade de eutrofização (Rheinheimer et al, 2003; Pellegrini, 2005; Lima, 2005).

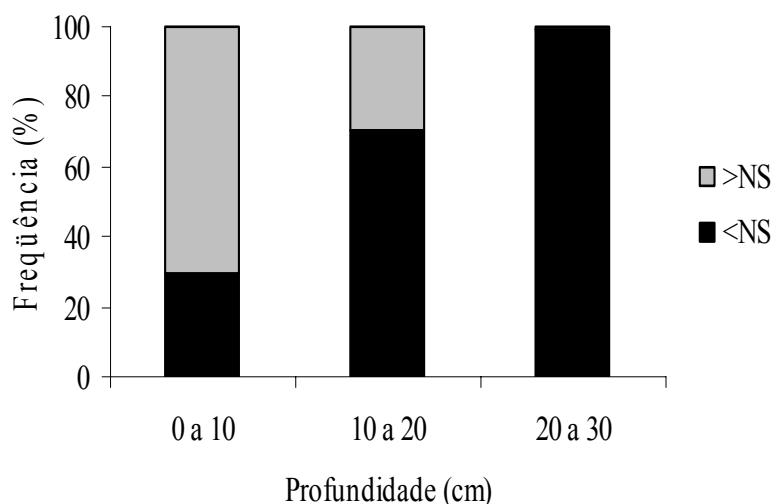


Figura 4 - Distribuição de frequência para fósforo em função do nível de suficiência (NS) nos solos analisados em três profundidades de amostragem.

A amenização deste gradiente de concentração de P, nas condições de PD, é difícil, visto que, a sua redistribuição na forma inorgânica ao longo do perfil é relatada apenas para condições de solos arenosos com baixa capacidade de adsorção, aplicações massivas de fontes solúveis de P e submetidos a intensas precipitações (Weaver et al., 1988a; Weaver et al., 1988b). Pode ocorrer também alguma contribuição das formas orgânicas de P em profundidade (Pink et al., 1941; Hannapel et al., 1964), mesmo que não expresse relevância na disponibilidade direta do P, pois é dependente da atividade microbiológica no solo. Em situações extremas, a única forma de diluir o fósforo no solo é a incorporação em camadas mais profundas.

Normalmente as condições que ocorrem com fósforo se repetem com o potássio, pois quase sempre as adubações destes dois nutrientes se fazem acompanhadas, já que as formulações oferecidas no mercado têm composição P e K obrigatória. Contudo, para o K o número de amostras com teores abaixo do considerado satisfatório é menos pronunciado (Tabela 4).

A interpretação dos teores de K no solo, conforme as novas recomendações da CQFS (2004), considera três classes de CTC₇. Neste diagnóstico, independentemente da camada estudada, a maioria enquadrou-se na classe de CTC₇ entre 5,0 e 15,0 cmol_c dm⁻³. Contudo, 32% das amostras na camada 0-10, 13% na camada 10-20 e 11% na camada 20-30 cm, apresentaram CTC₇ maior que 15,0 cmol_c dm⁻³ (Anexo D).

Em relação à distribuição percentual das amostras coletadas, considerando os níveis de suficiência para o K, os resultados indicam que 91% das amostras na camada 0-10 cm, 51% na camada 10-20 cm e 26% na camada 20-30 cm apresentam teores de K acima do nível de suficiência (Figura 5), do que se pode inferir que o K é um problema de mais fácil solução para a construção da fertilidade destes solos.

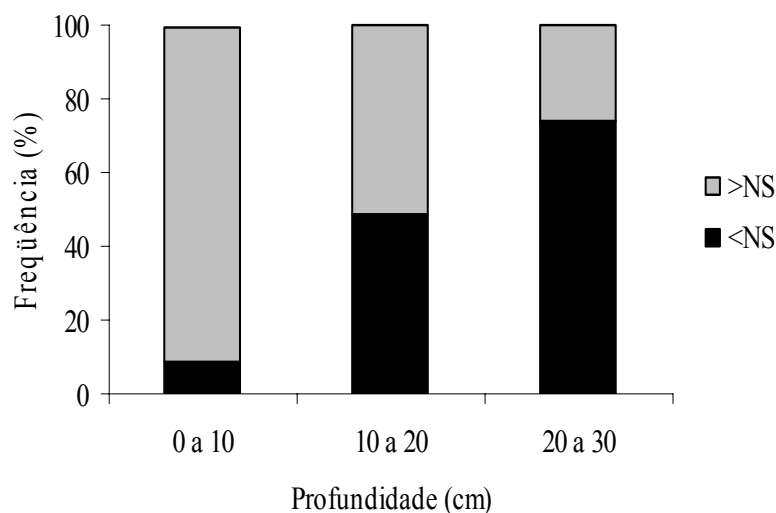


Figura 5 - Distribuição de freqüência para potássio em função do nível de suficiência (NS) nos solos analisados em três profundidades de amostragem.

O elevado percentual de amostras com teores de K acima do nível de suficiência reflete o histórico de manejo da adubação. Durante as décadas de 70 e 80, devido ao processo erosivo intenso, havia perdas elevadas de solo e, conseqüentemente, perda de argila e MOS,

frações responsáveis pela CTC do solo e, portanto, fontes de K. Em função disso, na década de 80 a CQFS elevou o nível de suficiência de 60 mg dm^{-3} para 80 mg dm^{-3} . A partir disso, as fórmulas de fertilizantes utilizadas para as principais culturas foram alteradas, a fim de aumentar o teor de K, em detrimento do P, contribuindo para o grande número de amostras de solo que estão com boa disponibilidade de K. Na década de 90, com a diminuição das perdas por erosão e uso de formulações com altas doses de K, houve elevação dos níveis de K nos solos.

Outra possível explicação para o alto percentual de solos com teores alto e muito alto de K, inclusive na camada 10-20 cm, é que onde há aplicações superficiais de K elevadas pode ocorrer migração no perfil por percolação, que é mais intensa em solos ácidos devido à menor disponibilidade de cargas. Trabalhos mostram que os ânions NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} são móveis no solo e suas perdas por lixiviação são importantes, principalmente a do nitrato, com a conseqüente migração de potássio e de outros cátions presentes na solução do solo (Moraes, 1991). Embora ocorram teores elevados de K também em subsuperfície, o gradiente entre as camadas inferiores a 10 cm e a camada superficial sempre ocorrerá, em função da permanência dos resíduos das culturas na superfície do solo e pela ciclagem normal a partir das plantas vivas através da lavagem pela água da chuva.

Avaliando apenas a camada 0-10 cm, utilizada para recomendação de fertilizantes no PD e, considerando-se que o nível de suficiência refere-se ao teor do nutriente no solo em que a produtividade das culturas alcança 90% do rendimento máximo, apenas 9% das amostras apresentam probabilidade de resposta à fertilização com K, embora 49% das amostras na camada 10-20 cm e 74% na camada 20-30 cm ainda encontram-se abaixo do nível de suficiência (Tabela 4). De qualquer maneira, ao menos as amostras que apresentam teores de K suficiente até 20 cm (51% das amostras), poderiam representar ao produtor uma redução de custos, visto que, só haveria necessidade de repor o K exportado pelas culturas (adubação de reposição). Entretanto, é difícil estabelecer a condição ideal de K no solo para assegurar a sua disponibilidade. Em alguns trabalhos se tem observado que as culturas não respondem à adição de K mesmo quando o solo possui baixos teores deste nutriente (Borkert et al., 1993; Scherer, 1998; Brunetto et al., 2005; Kist, 2005). No entanto, outros estudos têm relatado respostas à adubação, mesmo quando o solo apresenta teores de K acima do nível de suficiência (Silveira, 2002). Isto pode ser atribuído às características mineralógicas dos solos (Bortoluzzi et al., 2005) e à ciclagem dos nutrientes contidos nos resíduos orgânicos, principalmente no PD, que são liberados durante a sua decomposição e que coincide com o período de desenvolvimento da cultura comercial.

4.3 Matéria orgânica do solo (MOS)

A ciclagem de nutrientes, a geração de cargas e a melhoria das características físicas do solo podem ser considerados os principais benefícios da MOS. Estes benefícios dependem do teor e da qualidade da MOS que, por sua vez, estão diretamente associados ao manejo que é dado ao solo. Práticas de manejo do solo inadequadas são responsáveis pela diminuição da MOS, ao passo que, sistemas que favorecem o acúmulo de resíduos orgânicos promovem o seu incremento. Exemplo disso é o PD, que favorece o acúmulo e diminui drasticamente as perdas de MOS pela erosão.

Os teores de MOS na camada superficial dos locais amostrados enquadraram-se, predominantemente, no intervalo entre 2,5 e 5,0%, poucas amostras apresentaram menos que 2,5% de MOS e um quarto delas enquadraram-se na faixa maior que 5,0% (Tabela 5). Todos os solos amostrados são conduzidos sob PD e possuem textura argilosa, o que contribui para o acúmulo e proteção da MOS. Em especial, os valores de MOS maiores que 5% foram encontrados nas amostras coletadas no município de Capão Bonito do Sul, onde ocorrem solos com teores originalmente mais elevados, em função do clima e agricultura mais recente.

De certa forma, os dados deste diagnóstico se assemelham aos observados por Rheinheimer, et al. (2001), mesmo considerando que naquele levantamento o enquadramento do teor de MOS não levou em consideração o teor de argila.

Com o aprofundamento no perfil ocorre diminuição dos teores de MOS, aumentando a percentagem de amostras nos níveis menores, o que é esperado em sistemas de manejo como o PD, onde os resíduos são mantidos na superfície do solo.

Tabela 5 – Distribuição percentual das amostras em intervalos de teores de matéria orgânica em três profundidades de amostragem

MOS (%)	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
< 2,5	08,0	33,0	49,0
2,6 – 5,0	67,0	66,0	51,0
> 5,0	25,0	01,0	00,0

4.4 Análise de agrupamento dos dados

Os agrupamentos realizados procuram demonstrar as maiores limitações da fertilidade do solo e as situações que ocorrem com mais frequência para os parâmetros da acidez e para a disponibilidade de fósforo e de potássio.

Em relação à disponibilidade de nutrientes nos solos amostrados, pode-se observar na Tabela 6 que, na camada superficial há condições satisfatórias ao crescimento e desenvolvimento das plantas, visto que, 74% das amostras apresentam saturação por bases maior que 65% e destas, 51% possuem P e K acima do nível de suficiência. Soma-se a isto a ausência de Al tocável, como se pode observar na Tabela 7, onde há predominância de amostras com saturação por Al menor que 10% e, P e K acima do nível de suficiência. Apenas 9% apresentam saturação por Al maior que 10% as quais possuem, concomitantemente, teores adequados de nutrientes.

Tabela 6 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento para saturação por bases em relação à disponibilidade de fósforo (P) e de potássio (K), em três profundidades de amostragem

Sat. Bases (%)	0 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 30 cm	
	< 65	≥ 65	< 65	≥ 65	< 65	≥ 65
 %					
K1 P1	01,0	03,0	19,0	21,0	51,0	30,0
K1 P2	01,0	00,0	05,0	06,0	00,0	01,0
K2 P1	08,0	20,0	22,0	15,0	16,0	03,0
K2 P2	16,0	51,0	03,0	08,0	00,0	00,0

1 – abaixo do nível de suficiência e 2 – acima do nível de suficiência.

Cabe salientar que, muitas lavouras apresentam limitações mesmo na camada superficial, sendo que, em torno de um terço das amostras apresentam baixos teores de P e 26% possuem baixa saturação por bases. Comportamento diferenciado tem mostrado o K, pois, no último levantamento realizado (Rheinheimer et al., 2001), mais de 70% dos solos já apresentavam teores altos e muito altos desse elemento e, no presente diagnóstico, apenas 5% das amostras apresentam teores deste nutriente abaixo do nível de suficiência na camada 0-10 cm. Em geral, as amostras apresentam teores de K acima do nível de suficiência enquanto o P

não atinge este nível. Isto também foi observado em outros levantamentos da situação da fertilidade do solo do RS (Porto, 1970; Drescher, 1991; Cargnelutti Filho, 1995; Rheinheimer et al., 2001) onde ocorreram apenas pequenos incrementos na disponibilidade de P no decorrer dos anos, continuando este o principal limitador químico da produtividade das culturas. Provavelmente, isto é função da utilização de fórmulas desbalanceadas e quantidades e épocas inadequadas, ou por não se basear em análises de solo, ou por falta de uma correta interpretação dos resultados analíticos, ou ainda, simplesmente pelo não uso das recomendações técnicas.

Na camada 10-20 cm apenas 8% das amostras apresentam saturação por bases maior que 65% (Tabela 6) e 9% possuem saturação por Al menor que 10% (Tabela 7) quando os teores de P e K encontram-se acima do nível de suficiência. E, na camada 20-30 cm se acentua a concentração de amostras nas classes em que os atributos da fertilidade do solo são considerados inadequados.

Tabela 7 – Distribuição percentual das amostras em função do agrupamento para saturação por alumínio em relação à disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), em três profundidades de amostragem

Sat. Al (%)	0 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 30 cm	
	< 10	≥ 10	< 10	≥ 10	< 10	≥ 10
 %					
K1 P1	03,0	00,0	26,0	09,0	29,0	45,0
K1 P2	02,0	00,0	07,0	03,0	01,0	00,0
K2 P1	24,0	00,0	18,0	24,0	05,0	20,0
K2 P2	62,0	09,0	09,0	04,0	00,0	00,0

1 – abaixo do nível de suficiência e 2 – acima do nível de suficiência.

Em função disso e conforme observado pelos dados já apresentados anteriormente, pode-se inferir que o suprimento das necessidades das plantas em grande parte das áreas amostradas dá-se, predominantemente, pela camada 0-10 cm. Conforme dados da literatura (Doss & Lund, 1975; Gonzalez-Erico et al., 1979; Sousa, 2004) isto não afeta significativamente o desempenho das culturas em condições de boa disponibilidade de água; porém, em condições onde há necessidade do aprofundamento radicular para exploração de camadas com maior umidade, os efeitos fitotóxicos do Al e da falta de nutrientes podem se

manifestar. Contudo, muitas amostras apresentam limitações mesmo na camada superficial, sejam elas em função da saturação por bases baixa, elevada saturação por alumínio ou disponibilidade de nutrientes inadequada.

Portanto, nas condições de clima do RS, o sistema de manejo do solo deve propiciar às plantas condições para o máximo crescimento radicular em profundidade, a fim de torná-las mais tolerantes às condições impostas. Nesse sentido, é importante o monitoramento do solo, também na camada 10-20 cm, além da camada atualmente recomendada para amostragem, pois, embora esta possa apresentar boas condições de fertilidade, abaixo dela podem apresentar limitações.

4.5 – Resistência do solo à penetração (RP)

As Figuras 6 e 7 mostram os valores de RP e de umidade para todos os locais de amostragem. Nos locais 2, 5, 6, 7 e 20, os maiores valores de RP ocorrem na camada de 8 e 15 cm, concordando com dados geralmente observados em solos sob PD (Reichert et al., 2003; Genro Junior et al., 2004). Entretanto, nos demais locais, percebe-se que, de modo geral, a RP tende a manter valores elevados até os 30 cm. Isto também foi observado por Rosolem et al. (1992) onde ocorreu aumento praticamente linear da RP até 20-25 cm e, a partir daí, estabilizou-se até os 60 cm (profundidade amostrada).

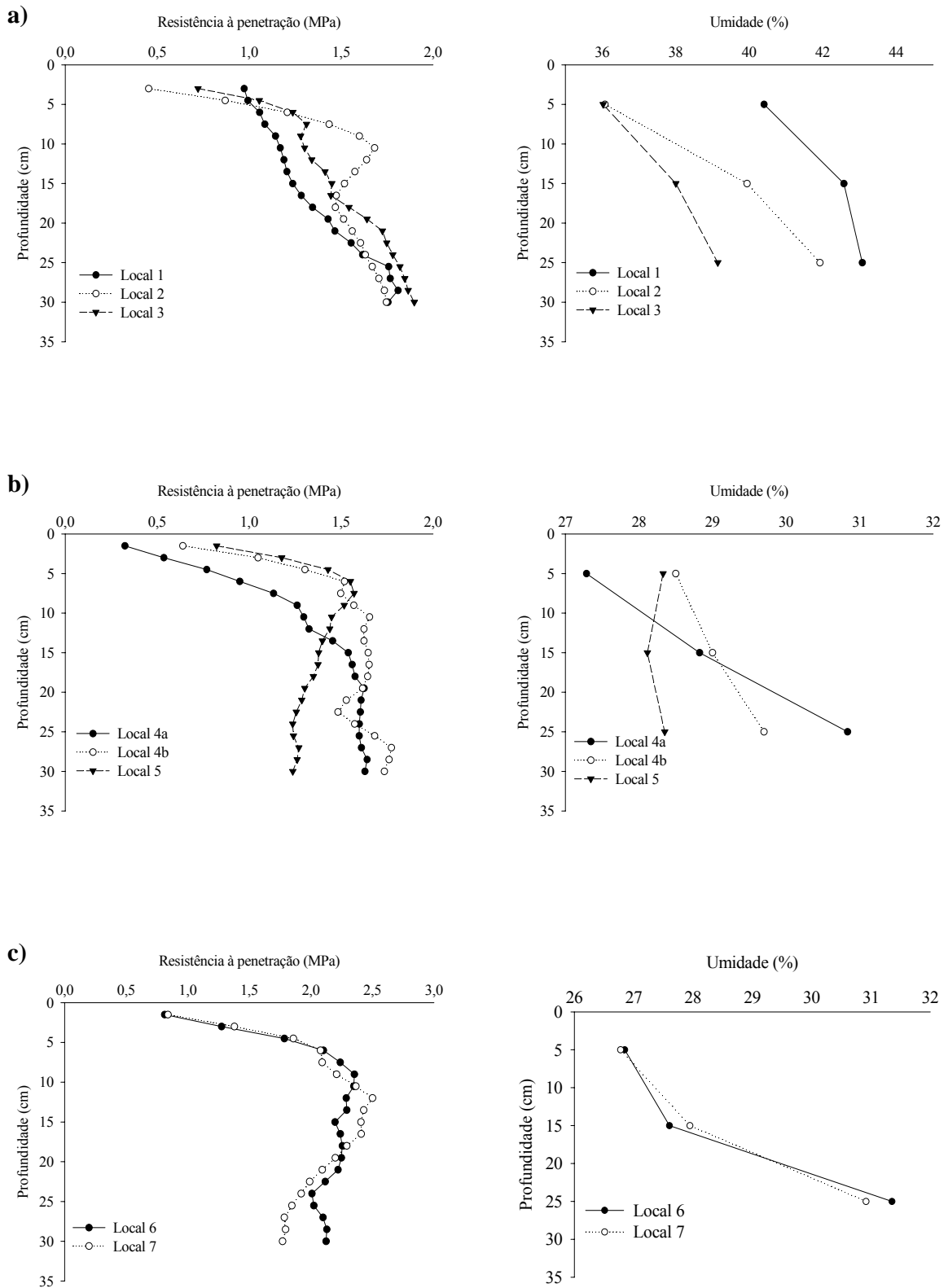


Figura 6 – Resistência à penetração (figura à esquerda) e umidade do solo (figura à direita) para os locais amostrados nos municípios de Capão Bonito do Sul (a), Palmeira das Missões (b) e Giruá (c).

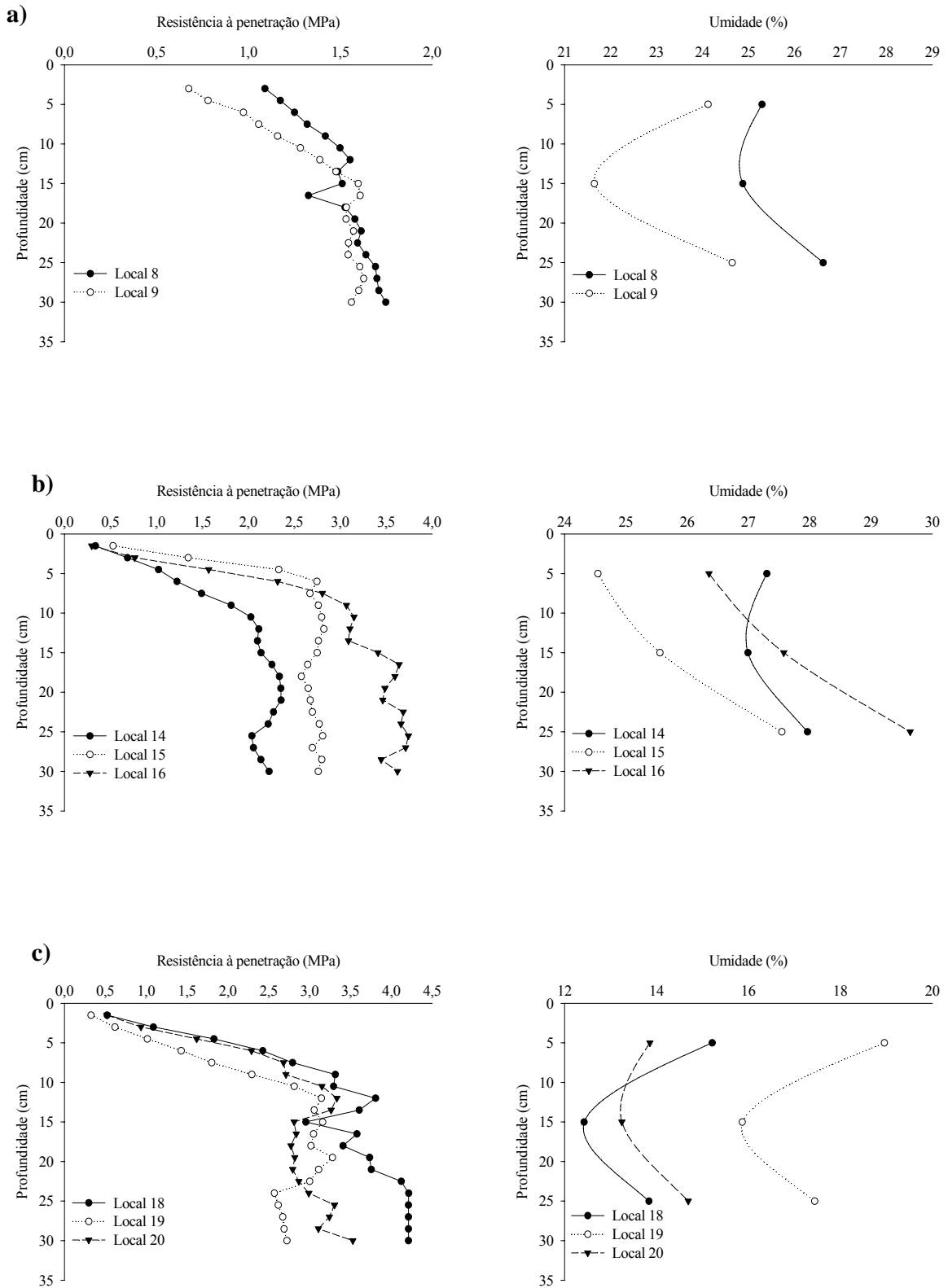


Figura 7 – Resistência à penetração (figura à esquerda) e umidade do solo (figura à direita) para os locais amostrados nos municípios de Cruz Alta (a), Campinas do Sul (b) e Santa Bárbara do Sul (c).

A distribuição de frequência das amostras em faixas de RP relativa, apresentada na Tabela 8, considera como sendo 1,0 o máximo valor de RP encontrado para cada local amostrado. Estes dados mostram que 63% das amostras apresentaram valores inferiores a 0,75 na camada 0-10 cm enquanto que, 76 e 94% respectivamente nas camadas 10-20 e 20-30 cm, encontram-se acima deste valor. Esses resultados reforçam o observado nas Figuras 6 e 7, onde a maioria dos locais amostrados apresentaram elevada resistência a partir de aproximadamente 8 cm, estendendo-se até a profundidade da amostragem, 30 cm. Fato que pode ser atribuído ao modo como o sistema foi implantado e a maneira com que esse sistema vem sendo conduzido.

Tabela 8 – Distribuição de frequência das amostras em faixas de RP relativa, em três profundidades de amostragem

RP relativa	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
 %		
<0,25	10,0	01,0	00,0
0,25 - 0,5	19,0	08,0	00,0
0,5 - 0,75	34,0	15,0	06,0
0,75 – 1,0	37,0	76,0	94,0

Os maiores valores de RP abaixo de 10 cm podem ser atribuídos às características intrínsecas do sistema de semeadura direta, onde ocorre mobilização apenas na profundidade de deposição dos insumos e sementes pelos equipamentos utilizados nestas operações, além do maior aporte de matéria orgânica e concentração de raízes novas e em decomposição concentrar-se na superfície do solo.

Além disso, o tráfego de máquinas pesadas nas operações de dessecação ou rolagem, de distribuição superficial de adubos ou calcário, de semeadura, de tratos culturais e de colheita, sem observar o teor de umidade do solo, favorece a compactação subsuperficial. Esta atingirá maiores profundidades quanto mais intenso for o tráfego de máquinas com elevado peso por eixo e pequena superfície de contato rodado-solo (Secco, 2003), podendo chegar até a 50 cm (Daniel & Marette, 1990 apud Secco, 2003).

Quando a compactação ocorre na subsuperfície, o rompimento dessa camada compactada torna-se mais difícil, pois, requer a utilização de equipamentos que atinjam grandes profundidades e que, conseqüentemente, apresentam elevados custos. Na literatura

alguns trabalhos têm apontado a utilização de arado escarificador como uma alternativa para a recuperação de características físicas adequadas, proporcionando maior uniformidade do perfil e menores valores de densidade e resistência, indicando, também, maior porosidade do solo (De Maria et al., 1999). Além disso, os efeitos indesejáveis da mobilização causados por ele tendem a ser menores se comparados a outros equipamentos.

A manutenção de condições físicas adequadas ou melhoria destas condições, bem como, as alterações na estrutura do solo sob PD são dependentes da forma de manejo empregada desde a sua implantação, e independem do tempo de condução sob este sistema. Exemplo disto são os locais 6 e 7 (Figura 6), amostrados em Giruá, onde os valores de RP encontrados são semelhantes nos dois locais e, no entanto, a propriedade 6 tem cinco anos de PD enquanto na outra o sistema foi implantado há 14 anos. Nos locais amostrados em Palmeira das Missões isto fica ainda mais evidente, pois, a propriedade 4a, com 15 anos de PD, apresenta menores valores de RP até próximo aos 15 cm de profundidade, em relação às demais que possuem 10 anos (propriedade 4b) e 5 anos (propriedade 5) sob este sistema de manejo.

Os locais 18, 19 e 20, amostrados no município de Santa Bárbara do Sul (Figura 7), foram os que apresentaram maiores valores de RP, os quais podem ter sido superestimados, pois, considerando que esse solo possui em média 38% de argila, a umidade no momento da avaliação da RP encontrava-se baixa (valores entre 12 e 19%). Apesar disso, a compactação destas lavouras é evidente, não somente pelos elevados valores de RP, como também pela debilidade do sistema radicular das plantas de soja observado no campo que, especialmente na propriedade 18, apresentava crescimento horizontal, pouca ramificação e profundidade em torno de 12 cm (Figura 8).



Figura 8 – Detalhe do sistema radicular da soja amostrado no local 18, município de Santa Bárbara do Sul.

Os locais 15 e 16, amostrados no município de Campinas do Sul, também apresentaram valores elevados de RP (Figura 7), restritivos ao desenvolvimento das raízes, o que foi confirmado pelo menor crescimento do sistema radicular. Na propriedade 15, a partir dos 5 cm a resistência foi superior a 2 MPa, valor tido como referência para caracterizar impedimento físico, mas no campo notou-se o sistema radicular até próximo dos 15 cm, profundidade que se encontra a maior resistência (Figura 9b). Assim como na propriedade 15, a partir dos 5 cm de profundidade a resistência foi superior a 2 MPa no local 16 e, as maiores resistências encontraram-se entre 15 e 18 cm e entre 22 e 27 cm, no entanto, a profundidade alcançada pelo sistema radicular não ultrapassou os 18 cm (Figura 9c). No local 14, também amostrado neste município, a maior RP foi encontrada entre 20 e 25 cm e, no campo, foi verificado que o sistema radicular da soja estendeu-se aproximadamente até esta profundidade (Figura 9a).

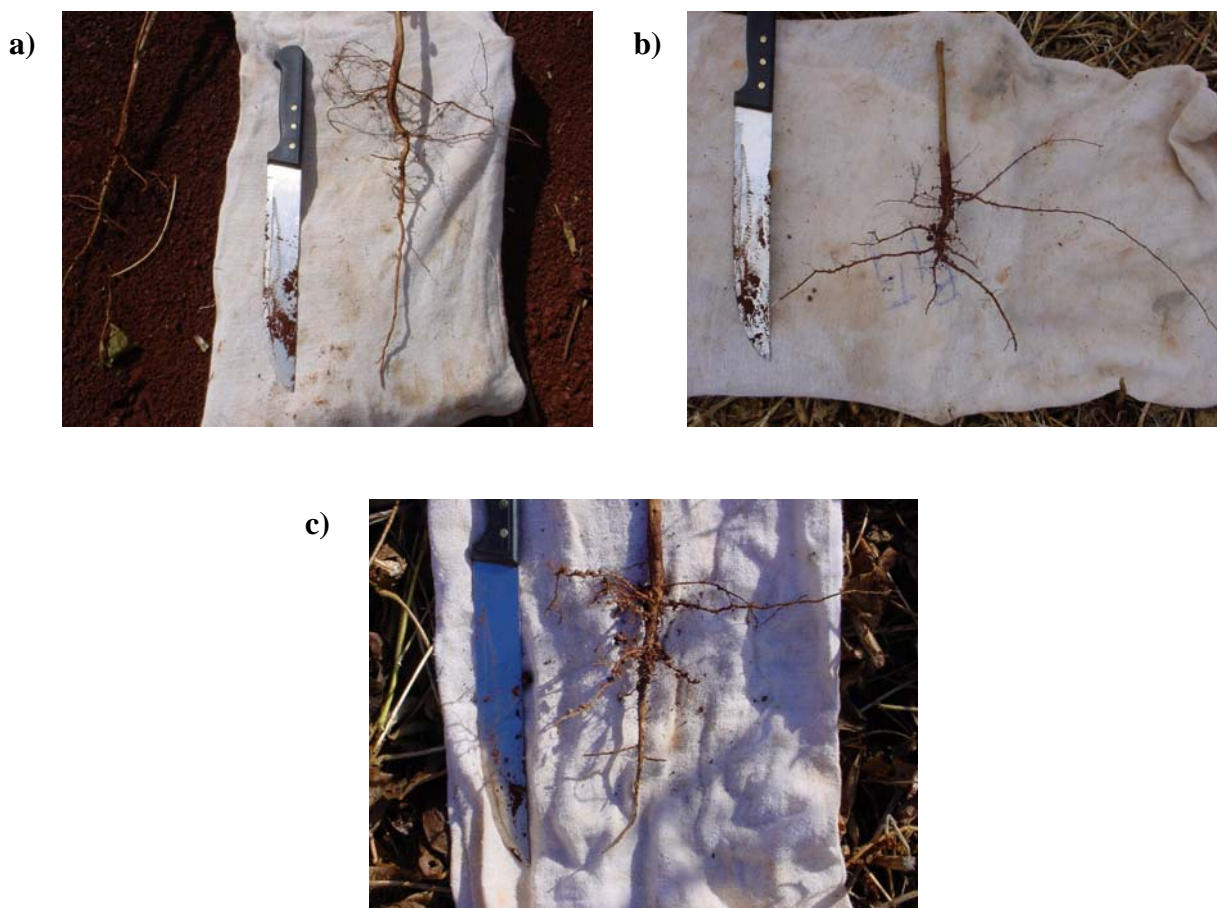


Figura 9 – Detalhe do sistema radicular da soja amostrado nos locais 14 (a), 15 (b) e 16 (c), no município de Campinas do Sul.

A RP é considerada uma determinação prática e um bom indicativo do estado de compactação do solo, estando diretamente relacionada ao crescimento radicular das plantas (Bengough & Mullins, 1990; De Maria et al., 1999). Contudo, a definição de valores críticos de RP considerados impeditivos ao crescimento radicular, à absorção de água e nutrientes e à produção das culturas, apresenta algumas dificuldades, devido à sua variação em função da umidade do solo (Streck, 2003; Genro Junior et al., 2004; Tormena et al., 1998). Além disso, o valor de 2 MPa, citado pela literatura como crítico, não considera o tipo de solo, a cultura e o sistema de manejo utilizado, podendo ser superestimado (Rosolem et al., 1994; Bengough & Mullins, 1990; Cintra & Mielniczuk, 1983) ou subestimado (De Maria et al., 1999; Ehlers et al., 1983). Mesmo assim, estes resultados permitem mostrar as diferenças entre as camadas de solo dentro do mesmo sistema, indicando a presença de compactação, e associados às observações de campo, fornecem informações importantes para diagnosticar possíveis barreiras ao desenvolvimento das plantas.

Cabe salientar ainda que os valores de RP apresentam variabilidade, demonstrando que, embora ocorra formação de camadas compactadas estas não são uniformes permitindo ao sistema radicular procurar os espaços de menor resistência para se desenvolver (Suzuki, 2005; Queiroz-Voltan et al., 2000). De acordo com Unger & Kaspar (1994) os solos não são uniformemente compactados pelo tráfego de máquinas. Segundo os autores, devido à direção do tráfego para muitas operações no campo ser paralela a linha de plantio, a compactação tende a se concentrar em algumas entrelinhas. Como resultado, o tráfego pode causar enormes diferenças nas condições físicas do solo nas entrelinhas trafegadas e não trafegadas.

Nos locais 1 a 9, apesar dos valores de RP serem relativamente baixos, também apresentam tendência à compactação subsuperficial que, em situações de menor umidade podem se agravar. De acordo com Genro Junior et al. (2004), o sistema radicular sofre pouca ou nenhuma limitação pela compactação do solo quando sua umidade estiver próxima à capacidade de campo, por isso, em épocas de restrição hídrica, comuns no Estado do Rio Grande do Sul, a dificuldade do sistema radicular pode ser aumentada, especialmente nos estádios iniciais ou intermediários do desenvolvimento da planta.

As observações do sistema radicular da soja no campo não foram realizadas nos locais 1, 2, 3, 8 e 9 em função de que, nestas lavouras, as coletas foram realizadas no período de entressafra. Nos locais 4a, 4b, 5, 6 e 7 pôde-se notar crescimento de raízes até próximo aos 25 cm.

O rendimento das culturas é função de vários fatores, como propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, manejo dado à cultura, além do fator climático. Alguns solos

podem apresentar condições inadequadas, mas uma boa condição climática pode minimizar esses efeitos. No entanto, nas constantes adversidades climáticas que estão ocorrendo no Estado, um solo em boas condições poderia permitir ao produtor o planejamento de suas atividades, pois as variações no rendimento seriam menores (Suzuki, 2005).

CONCLUSÕES

1. Em torno de um quarto das áreas sob PD apresentam problemas de acidez na superfície do solo, porém, a metade delas possuem alumínio tóxico e baixa saturação por bases nas camadas inferiores, indicando correção efetiva somente na camada superficial.
2. Na camada superficial em torno de dois terços das amostras apresentam teores de P e K acima do nível de suficiência e saturação por bases considerada satisfatória. Nas camadas subsuperficiais ocorrem limitações, onde um terço das amostras possui teores de P e K abaixo do nível de suficiência, três quartos apresentam baixa disponibilidade de P e a metade delas possuem saturação por bases inferior a 65%.
3. Todos os locais amostrados apresentam tendência à compactação, em menor ou maior grau, a partir de oito centímetros de profundidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No plantio direto, além do potencial genético da planta, a produtividade das culturas é afetada pelos parâmetros da fertilidade do solo e das suas condições físicas, especialmente compactação na subsuperfície, por isso as condições climáticas, associadas a períodos de deficiência hídrica, assumem importância fundamental na média de produtividade do Rio Grande do Sul. Assim, os estudos sobre qualidade de solo em plantio direto devem procurar identificar os parâmetros que se apresentam como limitantes à expressão do potencial produtivo das plantas, bem como, as práticas de manejo que minimizam seus efeitos.

Para futuros trabalhos, sugere-se que sejam incluídas amostras de lavouras que abranjam as várias formas de uso e manejo de solo sem revolvimento ou com cultivo mínimo, associando as características do perfil do solo, avaliando os diferentes graus de compactação em profundidade e a estratificação dos níveis de fertilidade, correlacionando-os às práticas de manejo empregadas nas lavouras.

Também avaliar as formas de amostragem do solo sob plantio direto estratificando-a, para verificar limitações de fertilidade em subsuperfície, especialmente em relação à acidez do solo e a redistribuição de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; LUND, Z. F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, v. 101, p. 193-198, 1965.

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha rumo à sustentabilidade agrícola nos Trópicos. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 49-66, 2003.

AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo no ambiente subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBSC/UFRPE, 2005. CD-ROM.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 349-353, 1992.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA SOJA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Grupo de Comunicações, 2001. 128f.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA SOJA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Grupo de Comunicações, 2005. 136f.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 151-156, 2002.

BECKER, M. **Efeitos do potássio e da densidade do solo na morfologia das raízes do milho, suprimento e influxo de K, Ca e Mg**. 1984. 139f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

BENGOUGH, A. G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, v. 189, p. 155-164, 1997.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 341-358, 1990.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 223-226, 1993.

BORKERT, C. M.; BARBER, S. A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 152-155, 1985.

BORTOLUZZI, E. C.; et al. Alterações na mineralogia de um argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 327-335, 2005.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods**. 2 ed. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1986. p. 463-478.

BRUNETTO, G.; et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 565-571, 2005.

CAIRES, E. F.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 62, p. 283-290, 2003.

CAIRES, E. F.; et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAMARGO, O. A. Compactação do solo e o crescimento das plantas. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.

CANAL, I. N.; MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.), afetados pela interação alumínio-cálcio. **Ciência e Cultura**, v. 35, p. 336-340, 1983.

CAPURRO, E. P. G. **Sistema solo-planta de campo nativo submetido ao uso de herbicidas para semeadura direta de forrageiras de estação fria**. 1999. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

CARGNELUTTI FILHO, A. **Estatísticas dos resultados das análises de solo do LAS/UFSM**. 1995. 65f. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; VIAU, V. M. Preparo do solo para a cultura do milho e as perdas por erosão em três solos do Rio Grande do Sul – 1979-1980. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 26., 1981, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Porto Alegre, 1981. p. 148-152.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 191-201, 1983.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo, 1994. 224p.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 set. 2005.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999.

DICK, W. A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 102-107, 1983.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 15: 3-11, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22.

DOSS, B. D.; LUND, Z. F. Subsoil pH effects on growth and yield of cotton. **Agronomy Journal**. v. 67, p. 193-196, 1975.

DRESCHER, M. **Avaliação da fertilidade e necessidade de corretivos e fertilizantes dos solos e culturas do Estado do Rio Grande do Sul, através de um sistema desenvolvido para microcomputadores**. 1991. 163f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

ECK, H. V.; TAYLOR, H. M. Profile modification of a slowly permeable soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 779-783, 1969.

EHLERS, W. W.; et al. Penetration resistance and growth root of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, v. 3, p. 261-275, 1983.

ELTZ, F. L. F.; et al. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico bruno-avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 117-125, 1984.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1999. 412p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em 05 set. 2005.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review Plant Physiology**, v. 29, p. 511-566, 1978.

FOY, C. D.; FLEMING, A. L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soil. In: **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. ASSA/CSSA/SSSA, 1978. p. 301-343 (Special publications, 32).

FRANCHINI, J. C.; et al. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2267-2276, 1999.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C.; et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v. 33, p. 282-290, 2003.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 477-484, 2004.

GONÇALVES, C. N. **Plantas de cobertura do solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo do solo e na produtividade do milho em sucessão, sob plantio direto**. 1997. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

GONZALEZ-ERICO, E.; et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 1155-1158, 1979.

HANNAPEL, R. J.; et al. Phosphorus movement in a clacareous soil: I. Predominance of organic forms of phosphorus in phosphorus movement. **Soil Science**, v. 97, p. 350-357, 1964.

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 59, p. 47-63, 2001.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1493-1500, 2000.

IBGE – INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 fev. 2004.

IBGE - INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 set. 2005.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties en mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p. 69-78, 2000.

ITOH, S.; BARBER, S. A numerical solution of whole plant nutrient uptake for soil-root systems with root hairs. **Plant and Soil**, v. 70, p. 403-413, 1983.

KAMINSKI, J.; et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.

KANG, B. T.; YUNUSA, M. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. **Agronomy Journal**, v. 69, p. 291-294, 1977.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em Argissolo com histórico de adubação potássica**. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, p. 79-86, 1996.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 403-408, 1995.

LANTMANN, A. F.; et al. Produtividade do trigo em sucessão a soja não fertilizada em Latossolo Roxo distrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 257-265, 1997.

LIMA, M. A. S. da. **Águas acumuladas em açudes e barragens na região de Santa Maria e flutuações em seus atributos físico químicos**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MASLE, A.; PASSIOURA, J. B. Effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 634-656, 1987.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D. S.; BISSANI, C. A. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 77-108.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 6. Ibirubá. **Trabalhos publicados**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2003. p. 5-14.

MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. **Plant and Soil**, v. 95, p. 315-326, 1986.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 411-416, 1993.

MORAES, M. F. de. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário e material vegetal em superfície. 2005. 80f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 54, p. 393-403, 1995.

MORAES, J. F. V. Movimento de nutrientes em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 85-97, 1991.

MOREIRA, S. G.; et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 71-81, 2001.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p.31-36, 1962.

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.3-18.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Bigham, J.M. **Methods of Soil analysis. Part 3. Chemical Methods**. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p. 961-1010.

NOVAIS, R. F.; et al. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 749-754, 1985.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a brazilian oxisol. **Ciência e Cultura**, v. 44, p. 391-394, 1992.

PEDROTTI, A.; et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEIXOTO, R. T. G. Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e conseqüências. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBSC/EMBRAPA-CNPS, 1997. CD-ROM.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino – Agudo/RS**. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 885-895, 2001.

PINK, L. A.; SHERMAN, M. S.; ALLISON, F. E. The behaviour of soluble organic phosphates added to soils. **Soil Science**, v. 51, p. 351-365, 1941.

PORTO, M. D. M. **Levantamento da fertilidade e necessidade de fertilizantes e corretivos dos solos do Rio Grande do Sul**. 1970. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1970.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 675-684, 1998.

QUAGGIO, J. A.; et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A.; et al. Calagem para a sucessão batata-triticale-milho usando calcários com diferentes teores de magnésio. **Bragantia**, v. 44, p. 391-406, 1985.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 113-118, 1982.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

RHEINHEIMER, D. S. dos. Dinâmica do fósforo no solo e adubação fosfatada em sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004, Lages. **Anais...** Lages: SBCS/UEDESC, 2004. CD-ROM.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 85-96, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; et al. **Situação da fertilidade dos solos no Estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM, 2001. 41p. (Boletim técnico; 2)

RHEINHEIMER, D. S.; et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 797-805, 2000.

RIOS, M. A.; PEARSON, R. W. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 28, p. 232-235, 1964.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. do. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 53, p. 259-266, 1994.

ROSOLEM, C.A.; et al. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 115-120, 1992.

RUIZ, H. A.; et al. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 43-48, 1988.

SARRANTONIO, M.; et al. On-farm assessment of soil quality and health. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America - Special publication Number 49, 1996. p. 83-105.

SCHERER, E.E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 57-62, 1998.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, p. 611-617, 2000.

SCHNITZER, M. Soil organic matter – the next 75 years. **Soil Science**, v. 151, p. 41-58, 1991.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000a.

SILVA, L. S., CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000b. p. 45-62.

SILVA, D. J.; et al. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 203-209, 1993.

SILVA, J. R. T.; MEURER, E. J. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do Rio Grande do Sul em função da capacidade de troca de cátions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 137-142, 1988.

SILVEIRA, M. J. da. **Produtividade e análise econômica da utilização de nitrogênio e potássio em milho irrigado por aspersão**. 2002. 67f. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

SOUSA, D. M. G. Resposta das culturas à adição de gesso agrícola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004, Lages. **Anais...** Lages: SBCS/UEDESC, 2004. CD-ROM.

STRECK, C. A. **Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento radicular e produtividade da cultura do feijoeiro e da soja**. 2003. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas.** 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil Tillage Research**, v. 19, p. 111-119, 1991.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, H. M.; BURNETT, E. Some effects of compacted soil pans on plant growth in the southern Great Plains. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 18, p. 235-236, 1963.

TEDESCO, M. J.; et al. Análise de solo, planta e outros materiais, 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico; 5)

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 107-114, 1992.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TRIPLETT, Jr., G. B.; VAN DOREN Jr., D. M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. **Agronomy Journal**, v.61, p. 637-639, 1969.

UNGER, P.W.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 759-766, 1994.

VEPRASKAS, M. J.; WAGGER, M. G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 849-854, 1990.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 91-96, 1984.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso – Uso agrícola. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Piracicaba, 1984. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 161-201.

WEAVER, D. M.; et al. Phosphorus leaching in sandy soils. I. Short-term effects of fertilizer applications and environmental conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 26, p. 177-190, 1988a.

WEAVER, D. M.; et al. Phosphorus leaching in sandy soils. II. Laboratory studies of the long-term effects of phosphorus source. **Australian Journal of Soil Research**, v.26, p. 191-200, 1988b.

WIETHÖLTER, S. Uso dos teores de potássio e de argila do solo na recomendação de potássio para a cultura do trigo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996, Lages. **Anais...** Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1996. p. 108-109.

ANEXOS

ANEXO A – Localização dos municípios de coleta das amostras no Estado do Rio Grande do Sul



ANEXO B – Coordenadas geográficas dos locais de coleta das amostras de solo

Local	Município	Pontos de referência	
		Latitude	Longitude
1	Capão Bonito do Sul	28° 14' 01,6'' S	51° 25' 53,6'' W
2	Capão Bonito do Sul	28° 13' 52,6'' S	51° 24' 55,6'' W
3	Capão Bonito do Sul	28° 13' 24,7'' S	51° 23' 07,6'' W
4a	Palmeira das Missões	27° 57' 16,5'' S	53° 26' 57,6'' W
4b	Palmeira das Missões	27° 57' 28,1'' S	53° 25' 48,9'' W
5	Palmeira das Missões	27° 53' 50,5'' S	53° 15' 55,8'' W
6	Giruá	28° 01' 05,5'' S	54° 21' 43,7'' W
7	Giruá	28° 00' 17,5'' S	54° 21' 09,8'' W
8	Cruz Alta	28° 39' 44,0'' S	54° 28' 46,3'' W
9	Cruz Alta	28° 38' 54,9'' S	54° 28' 6,63'' W
10	Cruz Alta	28° 39' 42,8'' S	54° 25' 9,46'' W
11	Campinas do Sul	27° 43' 35,2'' S	53° 37' 40,6'' W
12	Campinas do Sul	27° 41' 44,2'' S	53° 40' 35,9'' W
13	Campinas do Sul	27° 43' 10,2'' S	53° 38' 43,8'' W
14	Campinas do Sul	27° 45' 20,5'' S	53° 40' 12,9'' W
15	Campinas do Sul	27° 44' 26,8'' S	53° 39' 04,4'' W
16	Campinas do Sul	27° 43' 33,6'' S	53° 39' 04,9'' W
17	Campinas do Sul	27° 45' 52,7'' S	53° 41' 55,2'' W
18	Santa Bárbara do Sul	28° 18' 17,3'' S	53° 16' 02,9'' W
19	Santa Bárbara do Sul	28° 18' 32,7'' S	53° 18' 32,7'' W
20	Santa Bárbara do Sul	28° 17' 56,5'' S	53° 16' 30,4'' W

ANEXO C – Histórico de manejo dos locais de coleta das amostras de solo**Local: 1**

Município: Capão Bonito do Sul

Produtor: Jaime Gomes

Anos de PD: 11 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 5-30-15 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 3 t calcário ha⁻¹ no ano de 2001

Produtividade safra 2003/04: 3000 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1620 kg ha⁻¹

Local: 2

Município: Capão Bonito do Sul

Produtor: Secondo Tieppo

Anos de PD: 11 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-20 (250 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 3 t calcário ha⁻¹ no ano de 2000

Produtividade safra 2003/04: 1980 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1080 kg ha⁻¹

Local: 3

Município: Capão Bonito do Sul

Produtor: Juliano Gomes

Anos de PD: 7 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-20 (250 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 2 t calcário ha⁻¹ no ano de 2002

Produtividade safra 2003/04: 3000 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1620 kg ha⁻¹

Local: 4a

Município: Palmeira das Missões

Produtor: Mário César Scherer de Souza

Anos de PD: 15 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-20 (400 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 5 t calcário ha⁻¹ no ano de 2000

Produtividade safra 2003/04: 3000 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1620 kg ha⁻¹

Local: 4b

Município: Palmeira das Missões

Produtor: Mário César Scherer de Souza

Anos de PD: 10 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-30 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 6 t calcário ha⁻¹ no ano de 1999

Produtividade safra 2003/04: 2580 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1260 kg ha⁻¹

Local: 5

Município: Palmeira das Missões

Produtor: Luiz Roberto Korsack

Anos de PD: 5 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia ou pousio (aveia e azevém - ressemeadura natural)

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-20 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação (30 cm) de 4 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD

Produtividade safra 2003/04: 2280 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 720 kg ha⁻¹

Local: 6

Município: Giruá

Produtor: Lennart Leimann

Anos de PD: 5 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou girassol

Adubação (tipo/ quantidade): 100 kg de fosfato natural na linha

Calagem: aplicação superficial de 1,5 t calcário ha⁻¹ no ano de 2002 e aplicações anteriores a cada 3 anos

Produtividade safra 2003/04: 1500 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 480 kg ha⁻¹

Local: 7

Município: Giruá

Produtor: Gerson Leimann

Anos de PD: 14 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo

Adubação (fórmula/ quantidade): 2-20-30 (250 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação na implantação do PD e 2 t calcário ha⁻¹ superficialmente em 1992

Produtividade safra 2003/04: 1500 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 900 kg ha⁻¹

Local: 8

Município: Cruz Alta

Produtor: Renato Thiesen

Anos de PD: 5 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia ou cevada

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-16-28 (360 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação de 3 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD

Produtividade safra 2003/04: 2760 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1560 kg ha⁻¹

Local: 9

Município: Cruz Alta

Produtor: Rafael Thiesen

Anos de PD: 5 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia ou cevada

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-27 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação de 3 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD

Produtividade safra 2003/04: 2520 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1440 kg ha⁻¹

Local: 10

Município: Cruz Alta

Produtor: Aldemir Machiavelli

Anos de PD: 10 anos

Uso da área: verão-soja (a cada 3 anos cultiva-se milho), inverno-trigo

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-30 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 3,5 t calcário ha⁻¹ no ano de 1998

Produtividade safra 2003/04: 2340 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1380 kg ha⁻¹

Local: 11

Município: Campinas do Sul

Produtor: Antonio Consoli

Anos de PD: 12 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-pastagem com azevém (ressemeadura natural)

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-30-10 (400 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 2 t calcário ha⁻¹ no ano de 2002

Produtividade safra 2003/04: 2760 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 540 kg ha⁻¹

Local: 12

Município: Campinas do Sul

Produtor: Paulo Fontana

Anos de PD: 12 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-20 (200 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação de 5 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD

Produtividade safra 2003/04: 2700 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: nesta safra a área foi destinada ao cultivo de milho com produção de 3000 kg ha⁻¹

Local: 13

Município: Campinas do Sul

Produtor: Antonio Marmentini

Anos de PD: 9 anos

Uso da área: verão-soja ou milho, inverno- centeio + aveia

Adubação (tipo/ quantidade): 100 kg ha⁻¹ de fosfato natural de Arad, 150 kg ha⁻¹ de esterco de peru peletizado

Calagem: aplicação superficial de 3 t calcário ha⁻¹ no ano de 2002

Produtividade safra 2003/04: 2000 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1800 kg ha⁻¹

Local: 14

Município: Campinas do Sul

Produtor: Elpídio Rebelatto

Anos de PD: 10 anos

Uso da área: verão-soja ou milho, inverno- trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-30-15 (200 kg ha⁻¹) + 150 kg SFT ha⁻¹

Calagem: aplicação com incorporação de 5 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD e 2,5 t calcário ha⁻¹ superficialmente em 2001

Produtividade safra 2003/04: 2400 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 840 kg ha⁻¹

Local: 15

Município: Campinas do Sul

Produtor: Abrelino Martinazzo

Anos de PD: 11 anos

Uso da área: verão-soja ou milho, inverno- aveia + azevém (pastagem)

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-30 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação com incorporação de 2 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD e 2 t calcário ha⁻¹ superficialmente a cada três anos, sendo a última aplicação no ano de 2002

Produtividade safra 2003/04: 2460 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1200 kg ha⁻¹

Local: 16

Município: Campinas do Sul

Produtor: Reinaldo Martinazzo

Anos de PD: 15 anos

Uso da área: verão-soja ou milho, inverno- trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-30-15 (200 kg ha⁻¹) + 200 kg SFT ha⁻¹

Calagem: aplicação com incorporação de 5 t calcário ha⁻¹ na implantação do PD e 2,5 t calcário ha⁻¹ superficialmente em 2001

Produtividade safra 2003/04: 2580 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 840 kg ha⁻¹

Local: 17

Município: Campinas do Sul

Produtor: João Olavo Bertani

Anos de PD: 9 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia

Adubação (tipo/ quantidade): FOSMAG (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 2 t calcário ha⁻¹ no ano de 2000

Produtividade safra 2003/04: 2820 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1550 kg ha⁻¹

Local: 18

Município: Santa Bárbara do Sul

Produtor: Rui Antunes da Silva

Anos de PD: 11 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo

Adubação (fórmula/ quantidade): 5-25-25 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 3 t calcário ha⁻¹

Produtividade safra 2003/04: 2100 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 900 kg ha⁻¹

Local: 19

Município: Santa Bárbara do Sul

Produtor: Irini Pevine

Anos de PD: 7 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-aveia ou azevém

Adubação (fórmula/ quantidade): 0-20-30 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 2,5 t calcário ha⁻¹ no ano de 2000

Produtividade safra 2003/04: 2520 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1500 kg ha⁻¹

Local: 20

Município: Santa Bárbara do Sul

Produtor: Diecco Antunes da Silva

Anos de PD: 8 anos

Uso da área: verão-soja, inverno-trigo ou aveia

Adubação (fórmula/ quantidade): 5-25-25 (300 kg ha⁻¹)

Calagem: aplicação superficial de 3 t calcário ha⁻¹ no ano de 2000

Produtividade safra 2003/04: 2400 kg ha⁻¹

Produtividade safra 2004/05: 1080 kg ha⁻¹

ANEXO D – Distribuição percentual das amostras em classes de CTC₇ em três profundidades de amostragem

CTC ₇ (cmol _c dm ⁻³)	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
 %		
< 5,0	01,0	01,0	04,0
5,0 - 15,0	67,0	86,0	85,0
> 15,0	32,0	13,0	11,0

ANEXO E – Distribuição percentual das amostras em classes de disponibilidade de cálcio e magnésio em três profundidades de amostragem

	Profundidade (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Cálcio (cmol_c dm⁻³) %		
< 2,0	03,0	13,0	35,0
2,1 - 4,0	18,0	43,0	44,0
> 4,0	79,0	45,0	22,0
Magnésio (cmol_c dm⁻³) %		
< 0,5	00,0	01,0	01,0
0,6 - 1,0	03,0	02,0	11,0
> 1,0	97,0	97,0	88,0

ANEXO F – Distribuição de frequência para os parâmetros da acidez analisadas em três profundidades de amostragem para os locais de coleta

pH em água	Profundidade (cm)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	< 5,5	> 5,5	< 5,5	> 5,5	< 5,5	> 5,5
 %					
Capão Bonito do Sul	44,0	57,0	100,0	00,0	100,0	00,0
Palmeira das Missões	40,0	60,0	67,0	33,0	93,0	07,0
Cruz Alta	33,0	67,0	44,0	56,0	56,0	44,0
Campinas do Sul	44,0	56,0	44,0	56,0	72,0	28,0
Santa Bárbara do Sul	67,0	33,0	67,0	33,0	67,0	33,0
Giruá	38,0	63,0	19,0	81,0	63,0	38,0
Saturação por Al (%)	< 10	> 10	< 10	> 10	< 10	> 10
 %					
Capão Bonito do Sul	96,0	04,0	09,0	91,0	00,0	100,0
Palmeira das Missões	87,0	13,0	67,0	33,0	70,0	93,0
Cruz Alta	89,0	11,0	89,0	11,0	56,0	44,0
Campinas do Sul	100,0	00,0	72,0	28,0	44,0	56,0
Santa Bárbara do Sul	100,0	00,0	93,0	07,0	80,0	20,0
Giruá	100,0	00,0	88,0	13,0	69,0	31,0
Saturação por bases (%)	< 65	> 65	< 65	> 65	< 65	> 65
 %					
Capão Bonito do Sul	17,0	83,0	91,0	09,0	100,0	00,0
Palmeira das Missões	20,0	80,0	40,0	60,0	93,0	07,0
Cruz Alta	11,0	89,0	11,0	89,0	33,0	67,0
Campinas do Sul	64,0	36,0	76,0	24,0	84,0	16,0
Santa Bárbara do Sul	07,0	93,0	27,0	73,0	40,0	60,0
Giruá	19,0	81,0	19,0	81,0	69,0	31,0

ANEXO G – Distribuição de frequência para fósforo e potássio em função do nível de suficiência analisadas em três profundidades de amostragem para os locais de coleta

	Profundidade (cm)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	<NS	>NS	<NS	>NS	<NS	>NS
 %					
Fósforo						
Capão Bonito do Sul	50,0	50,0	100,0	00,0	100,0	00,0
Palmeira das Missões	00,0	100,0	27,0	73,0	93,0	07,0
Cruz Alta	11,0	89,0	100,0	00,0	100,0	00,0
Campinas do Sul	48,0	52,0	96,0	04,0	100,0	00,0
Santa Bárbara do Sul	33,0	67,0	47,0	53,0	100,0	00,0
Giruá	00,0	100,0	55,0	46,0	100,0	00,0
Potássio	<NS	>NS	<NS	>NS	<NS	>NS
 %					
Capão Bonito do Sul	08,0	92,0	38,0	62,0	78,0	22,0
Palmeira das Missões	00,0	100,0	67,0	33,0	67,0	33,0
Cruz Alta	00,0	100,0	67,0	33,0	75,0	25,0
Campinas do Sul	10,0	90,0	52,0	48,0	92,0	08,0
Santa Bárbara do Sul	00,0	100,0	47,0	53,0	87,0	13,0
Giruá	00,0	100,0	63,0	38,0	94,0	06,0

M383d	<p>Martinazzo, Rosane, 1980-</p> <p>Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado / por Rosane Martinazzo ; orientador João Kaminski. – Santa Maria, 2006. 82 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2006.</p> <p>1. Ciência do solo 2. Acidez de subsuperfície 3. Disponibilidade de nutrientes 4. Indicadores de solo 5. Plantio direto 6. Fertilidade do solo I. Kaminski, João , orient. II. Título</p> <p>CDU: 631.4</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM