

SISTEMA PLANTIO DIRETO: BASES PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

SISTEMA PLANTIO DIRETO: BASES PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

Afredo Scheid Lopes
Sírrio Wiethölter
Luiz Roberto Guimarães Guilherme
Carlos Alberto Silva

ANDA
Associação Nacional para
Difusão de Adubos

Praça Dom José Gaspar, 30 - 9 Andar
São Paulo - SP

Telefone: 11 3255-9277
Telefax: 11 3214-2831
Seite: www.anda.org.br
e-mail: info@anda.org.br

APRESENTAÇÃO

O Brasil possui a segunda maior área plantada no mundo sob sistema plantio direto (SPD). Esse fato representa uma grande conquista para a sociedade brasileira em termos de preservação do meio ambiente, uma vez que, em área sob SPD, a perda de solo por erosão é drasticamente reduzida e o estoque de matéria orgânica é aumentado.

Essas mudanças implicam em melhoria da fertilidade e da qualidade do solo e em maior eficiência de uso de água e de nutrientes, o que se traduz em maior produção de alimentos com as mesmas quantidades de fertilizantes e de corretivos usadas atualmente.

Como resultado desses benefícios, o SPD experimenta, atualmente, um avanço acelerado em todos os estados brasileiros, já que, de início, as áreas sob SPD concentravam-se no sul do Brasil.

Todos esses aspectos resultaram de um grande esforço da pesquisa brasileira no sentido de entender os processos fundamentais para o estabelecimento do SPD em diferentes solos e biomas, sobretudo nas questões associadas ao manejo da fertilidade do solo. Cabe também ressaltar a contribuição que os agricultores, os extensionistas e as empresas de fabricação de máquinas e de insumos deram para a expansão do SPD no Brasil.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Principais alterações químicas no solo decorrentes do sistema plantio direto.....	3
2.1. Matéria orgânica.....	3
2.2. Acidez do solo e toxidez de alumínio	5
2.2.1. Respostas à aplicação de calcário	8
2.2.2. Efeitos da calagem superficial nas camadas subsuperficiais do solo.....	17
2.3. Fósforo.....	21
2.4. Nitrogênio	32
2.4.1. Aplicação antecipada de nitrogênio.....	39
2.4.2. Perdas de nitrogênio por volatilização.....	53
3. Antes de netrar no sistema plantio direto.....	54
3.1. Calagem.....	55
3.2. Gessagem.....	58
3.3. Adubação corretiva.....	61
3.3.1. Adubação fosfatada corretiva.....	61
3.3.2. Adubação potássica corretiva.....	68
3.3.3. Adubação corretiva com micronutrientes.....	70
4. Manejo da fertilidade no sistema plantio direto.....	71
4.1. Amostragem do solo para fins de avaliação da fertilidade.....	71
4.2. Calagem.....	75
4.3. Adubação nitrogenada.....	79
4.4. Adubação fosfatada e potássica.....	83
4.5. Adubação com enxofre e micronutrientes.....	87
4.6. A importância da cobertura do solo.....	90
5. Considerações finais.....	92
6. Literatura citada.....	96
7. Apêndice - Classes de solo utilizadas no texto, figuras e tabelas - nomenclatura anterior e atual.....	110

SISTEMA PLANTIO DIRETO: BASES PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

Alfredo Scheid Lopes ¹

Sírio Wiethölter ²

Luiz Roberto Guimarães Guilherme ³

Carlos Alberto Silva ⁴

1. Introdução

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do Sistema Plantio Direto (SPD) no Sul do Brasil, a partir do início da década de 1970. Seu objetivo básico inicial foi controlar a erosão hídrica. O desenvolvimento desse sistema só se tornou possível graças a um trabalho conjugado de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras, e técnicos interessados em reverter o processo acelerado de degradação do solo e da água verificado em nosso país. Em solos de igual declividade, o SPD reduz em cerca de 75% as perdas de solo e em 20% as perdas de água, em relação às áreas onde há revolvimento do solo (Oliveira et al., 2002).

Com crescimento inicial pouco expressivo, em termos de área, foi a partir da década de 1990 que ocorreu grande expansão da área sob SPD, tanto na região sul como na região do Cerrado, onde o SPD começou apenas a ser utilizado nos anos 1980 (Figura 1). Atualmente são cultivados no Brasil cerca de 20 milhões de hectares sob plantio direto (Cervi, 2003), estando 25% dessa área localizada na região do Cerrado. Em nível mundial, a área sob SPD é de 64 milhões de hectares e o Brasil ocupa a segunda maior área, sendo os Estados Unidos o país que apresenta a maior área sob esse sistema. Regionalmente, o SPD já vem sendo adotado de modo sistemático nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (3,8, 0,8 e 4,5 milhões de hectares, respectivamente) havendo, nos anos

1. Eng^o Agr^o, PhD, Professor Emérito do Dept^o de Ciência do Solo, Universidade Federal da Lavras, Lavras, MG e Consultor Técnico da ANDA, São Paulo, SP, e-mail: ascheidl@ufla.br

2. Eng^o Agr^o, PhD, Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, e-mail: siriow@cnpt.embrapa.br

3. Eng^o Agr^o, PhD, Professor Adjunto do Dept^o de Ciência do Solo, Universidade Federal da Lavras, e-mail: guilherm@ufla.br

4. Eng^o Agr^o, Dr, Professor Adjunto do Dept^o de Ciência do Solo, Universidade Federal da Lavras, e-mail: csilva@ufla.br

recentes, uma maior adoção do SPD em outros estados brasileiros, principalmente em Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. A expansão relativamente rápida do SPD no Brasil pode ser explicada, também, pelo menor custo de produção e facilidades de operação de práticas de campo verificadas nesse sistema de cultivo, aliado a uma maior proteção do solo, da água e da fauna.

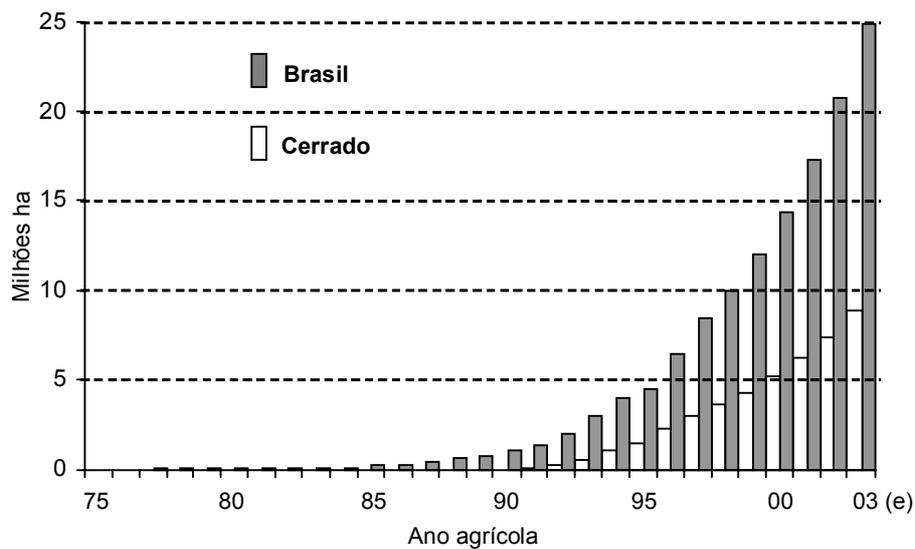


Figura 1. Evolução da área cultivada sob plantio direto na região do Cerrado e no Brasil. 1975-2002 e expectativa para 2003. Fonte: Cervi (2003) e FEBRAPDP (2003).

As informações obtidas em alguns experimentos de longa duração, implantados principalmente na região Sul do Brasil, permitiram concluir que o SPD não é apenas um sistema eficiente de conservação do solo. Áreas sob SPD apresentam inúmeras características próprias, e que, por consequência, exigem um manejo diferenciado, principalmente em relação à fertilidade do solo. Essas características são decorrentes dos seguintes fatores: a) do não revolvimento do solo e do acúmulo progressivo de restos culturais; b) da adubação sucessiva em sulcos ou a lâncos superficial; c) da variedade de plantas adotada na rotação de culturas - tanto em relação à quantidade quanto à qualidade da matéria seca das mesmas; d) de uma dinâmica de água no solo diferente da que ocorre com o preparo do solo e e) de uma condição diferenciada em relação a pragas, doenças e invasoras.

No caso do Cerrado, um fator adicional na implantação do SPD nesta região do Brasil, a partir dos anos 1990, surgiu em decorrência de, até recentemente, não haver muitas alternativas de plantas de cobertura que suportassem os seis meses de baixa disponibilidade de água que ocorrem entre abril e setembro. Outro ponto que merece destaque, em face de um menor tempo de adoção dessa prática nessa região, é que existem poucos experimentos de longa duração que permitem extrair informações conclusivas sobre alterações na dinâmica da fertilidade do solo sob SPD, e sobre suas respectivas alternativas práticas.

Embora existam vários trabalhos de revisão de literatura recentes, enfocando o manejo da fertilidade do solo no SPD em algumas regiões do país (Sá, 1999; Wiethölter, 2000b, 2002c; Caires, 2000; Sousa e Lobato, 2000; Freire et al., 2000 e Oliveira et al., 2002), o acesso a essas informações é bastante limitado para os técnicos que atuam diretamente no campo orientando os agricultores nas suas tomadas de decisão.

Por esse motivo, tornou-se oportuna a presente publicação, a qual não pretende abranger todos os dados disponíveis sobre o manejo da fertilidade do solo no SPD, mas tão somente objetiva avaliar as principais alterações de parâmetros de fertilidade do solo com o passar dos anos sob esse sistema, assim como apresentar sugestões sobre o manejo prático da fertilidade do solo para atingir-se a produtividade máxima econômica.

2. Principais alterações químicas no solo decorrentes do sistema plantio direto

2.1. Matéria orgânica

Uma das características marcantes do SPD é o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo com o decorrer do tempo de implantação desse sistema. A ausência de preparo do solo (práticas convencionais de aração e de gradagem) e a quantidade e qualidade, tanto dos resíduos das culturas de interesse econômico em rotação ou sucessão como das plantas de cobertura ao longo dos anos, acarretam um aumento gradual no teor de matéria orgânica, notadamente na camada superficial (0 a 10 cm).

A razão do acréscimo de matéria orgânica decorre do fato de a taxa de decomposição de palha mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada ao solo. O aumento nos estoques de matéria orgânica é dependente de vários fatores, tais como: quantidade de palha, tipo de rotação de cultura adotada, grau de revolvimento do solo, clima da região e doses de fertilizantes aplicadas nas lavouras, (Machado e Silva, 2001). O aumento do teor de matéria orgânica geralmente não ocorre nos primeiros anos de adoção do SPD, mas sim, após 6 ou 7 anos de início do sistema.

A alteração no teor de matéria orgânica, tanto em quantidade como em qualidade, tem implicações graduais nas alterações do pH, na toxidez de alumínio, na dinâmica de nitrogênio, do fósforo e de outros nutrientes. Nos trabalhos de pesquisa de Muzilli (1983) e Sidiras e Pavan (1985), conduzidos no Estado do Paraná, foram observados aumentos significativos no teor de matéria orgânica na camada de 0 a 5 cm em um Latossolo Roxo após 5 anos sob SPD, em comparação com o sistema de plantio convencional (SPC). Para outro Latossolo Roxo e para uma Terra Roxa Estruturada, após 4 anos sob SPD, o aumento significativo da matéria orgânica atingiu a camada de 0 a 20 cm. Ainda no norte do Paraná, foi observado que após 15 anos do SPD ocorreu um aumento de 27% no teor de matéria orgânica na camada de 0 a 10 cm (Sá, 1995).

A elevação do teor de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo é uma conseqüência não somente de sua mineralização mais lenta no SPD em relação ao SPC, devido ao menor contato com o solo, o que retarda a ação dos microrganismos responsáveis por este processo, mas, também, pela maior adição de fitomassa das culturas em rotação e/ou, sucessão e pela maior preservação da estrutura do solo, que confere à matéria orgânica maior proteção ao ataque de microrganismos e de seus complexos enzimáticos. No Sul do Brasil, em termos gerais, tem-se observado um aumento no teor de matéria orgânica de 0,5 a 1,5% na camada de 0 a 10 cm em cerca de 10 anos. Depreende-se, pois, que, em havendo aumento no teor de matéria orgânica, está ocorrendo armazenamento de N no solo, pois a matéria orgânica é constituída por 5% de N (a relação C:N em solo é constante, em torno de 10:1). Este aspecto, portanto, tem relação direta com as entradas e saídas de N do sistema. Em última instância, o acúmulo de matéria orgânica depende da adição de N ao solo, seja pela fixação biológica ou pelos fertilizantes minerais ou orgânicos.

2.2. Acidez do solo e toxidez de alumínio

No SPC, a calagem é uma prática indispensável a cada 4 a 5 anos visando corrigir a acidez do solo e tornar insolúvel o alumínio. A geração de acidez pode ser atribuída, em parte, à mineralização dos resíduos orgânicos, à lixiviação de cátions de reação básica da camada arável e à intensificação da erosão hídrica (Sidiras e Vieira, 1984).

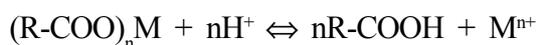
Já no SPD estabilizado, de uma maneira geral, tem sido observada menor demanda de calcário. De forma análoga, o teor de alumínio trocável e a percentagem de saturação da CTC efetiva por alumínio tendem a diminuir com o decorrer dos anos de implantação do SPD (Sidiras e Pavan, 1985). Nos Campos Gerais do Paraná, em 40 áreas avaliadas sob plantio direto, observou-se ausência de alumínio na profundidade de 0 a 10 cm, enquanto que apenas 5% das áreas apresentaram saturação por alumínio entre 0 e 15% na profundidade de 10 a 20 cm (Sá, 1993).

Vários mecanismos têm sido propostos para explicar a redução da acidez e a diminuição da toxidez de alumínio no solo pela aplicação de resíduos orgânicos, cabendo destaque as publicações de Miyazawa et al. (1993), Salet (1998), Franchini et al. (1999), Cassiolato et al. (1999), Sumner e Pavan (2000) e Miyazawa et al. (2000). Segundo Miyazawa et al. (2000), a capacidade dos resíduos vegetais em reduzir a acidez do solo está associada aos seus teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel, que normalmente são maiores em resíduos de adubos verdes, tais como: aveia preta, nabo forrageiro, tremoço, leucena, mucuna, crotalária e outros. A menor capacidade de neutralização da acidez do solo dos resíduos de culturas de espécies comerciais, como soja, trigo e milho, está relacionada à redução dos teores de cátions e carbono solúvel com o avanço da idade fisiológica da planta. Dessa forma, o efeito máximo das plantas no pH ocorre quando essas estão em pleno desenvolvimento.

Um aspecto interessante em relação às reações dos resíduos vegetais é que sua natureza anfótera (ora reage como base, ora como ácido) faz com que ocorra um aumento do pH de solos ácidos e uma redução do pH de solos alcalinos, tendendo a um valor próximo ao pKa médio de uma mistura de diferentes substâncias orgânicas. O pH tende a valores entre 4,5 a 7,0, dependendo do

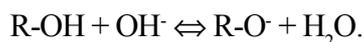
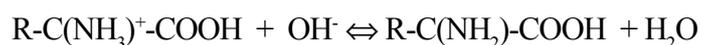
balanço entre grupamentos carboxílicos (com pKa entre 2 e 5) e fenólicos (pKa entre 7 a 9) presentes nos resíduos. Um resumo das reações químicas que ocorrem, em relação a possíveis alterações do pH, é mostrado a seguir:

a) Neutralização da acidez, envolvendo a participação de radicais carboxílicos:



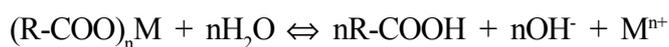
onde, $M^{n+} = K^+, Ca^{2+}$ e Mg^{2+} e R = cadeia de carbonos

b) Neutralização da alcalinidade, envolvendo a participação de radicais amídicos e fenólicos:



Outro aspecto que merece destaque é a redução da toxidez de Al^{3+} (a forma química mais tóxica para plantas) após a aplicação de resíduos vegetais e esterco de animais observada em vários estudos citados por Miyazawa et al. (2000). Isso ocorre por dois processos químicos, exemplificados a seguir:

a) Hidrólise devido ao aumento de pH



b) Complexação por ácidos orgânicos



onde, $M^{n+} = K^+, Ca^{2+}$ e Mg^{2+} e R = cadeia de carbonos.

Existe, entretanto, considerável variação do efeito neutralizante da acidez pela aplicação de diferentes resíduos vegetais em experimentos conduzidos

em laboratório. Os resultados obtidos por Cassiolato et al. (1999) (Figura 2-A), indicam que extratos de nabo forrageiro e de tremoço azul foram mais eficientes na neutralização da acidez potencial, sendo o efeito do milho quase nulo. Por sua vez, Miyazawa et al. (1993), avaliando várias espécies de resíduos vegetais quanto à capacidade de neutralização de H^+ da solução, verificaram que resíduos de adubos verdes apresentaram maior capacidade de neutralização de H^+ (feijão-bravo-do-Ceará = 1,0 mmol_c/g) do que resíduos pós-colheita (palha de trigo = 0,26 mmol_c/g e de milho = 0,30 mmol_c/g de resíduo) (Figura 2-B). Depreende-se, pois, que a capacidade de redução da toxidez de Al por plantas depende da espécie, mas principalmente do estágio da planta, sendo plantas em desenvolvimento mais eficientes que plantas no estágio de maturação.

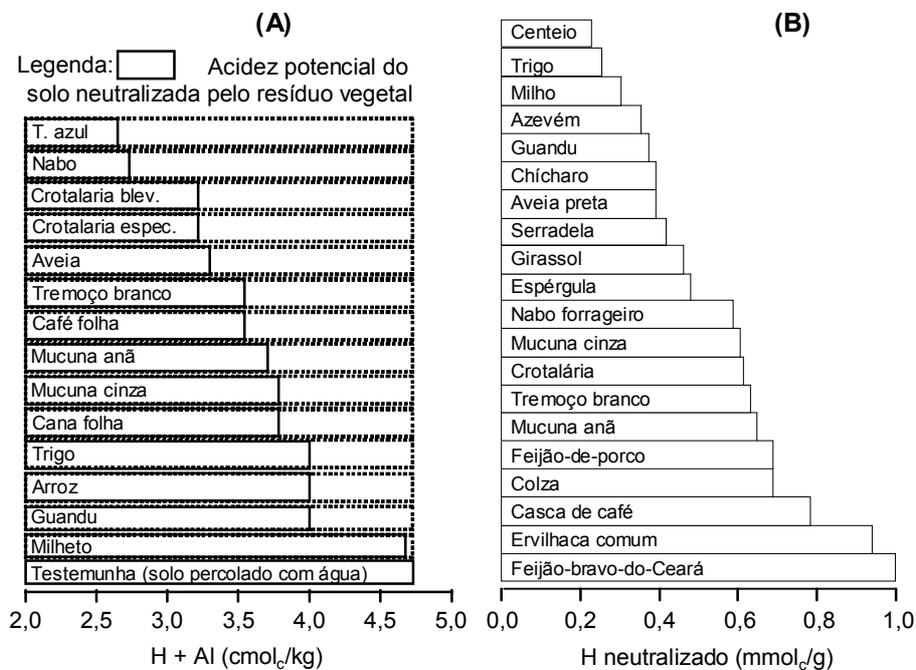


Figura 2. Neutralização da acidez potencial do solo (A) e da solução de HCl por resíduos vegetais (B). Fonte: Miyazawa et al. (1993) e Cassiolato et al. (1999), modificado por Miyazawa et al. (2000).

Os dados apresentados na Figura 2, embora tenham sido obtidos em laboratório, sugerem que os resíduos vegetais de diferentes culturas em rotação e/ou sucessão no SPD podem levar a diferenças na diminuição da acidez e da

toxidez de alumínio. Esses efeitos dos resíduos vegetais na dinâmica da matéria orgânica, na elevação do pH e na diminuição da toxidez de alumínio no SPD podem ter implicações na definição da dose de calcário à medida que aumenta o tempo de implantação do SPD nas glebas, chegando-se, em muitos casos, a alcançar produtividade máxima econômica (PME) com níveis de pH em água de 5,0 e percentagem de saturação por alumínio de 40%. Deve ser considerado, no entanto, que o efeito das plantas no pH do solo ocorre em um curto espaço de tempo. Para mais detalhes sobre o efeito de resíduos vegetais na diminuição da acidez e neutralização da toxidez do alumínio, o leitor pode consultar o trabalho de Miyazawa et al. (2000).

Sob certas situações, o SPD pode, entretanto, resultar no inverso, ou seja, em decréscimo do pH. Isso ocorre, principalmente, pela aplicação de doses elevadas de fertilizantes nitrogenados na forma amoniacal (NH_4^+) e amídica (NH_2) geralmente associada a alta taxa de absorção e exportação de bases (Freire et al., 2000).

2.2.1. Respostas à aplicação de calcário

Considerando que a geração de acidez no solo é um processo contínuo em climas úmidos, e considerando que a incorporação de calcário é inviável no plantio direto, desde o início dos estudos sobre o SPD havia preocupação com a forma de se corrigir a acidez do solo.

Existem, entretanto, no Brasil, relativamente poucos experimentos de longa duração no campo envolvendo doses e métodos de aplicação de calcário e seus efeitos com o passar dos anos, sobre atributos químicos nas diversas camadas do solo e na produção das culturas em rotação adotadas no SPD.

Os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 exemplificam o que ocorre com alguns atributos de acidez do solo, três ou quatro anos após a aplicação de doses variáveis de calcário em lavouras sob plantio direto. Para todos os tratamentos que envolveram a aplicação superficial de calcário, houve aumento do pH, do Ca + Mg e diminuição do teor

de Al trocável até 10 cm, mas relativamente pouco efeito na camada de 10 – 20 cm, a não ser nas doses mais elevadas de calcário. A diferença de rendimento médio de grãos da seqüência de culturas soja/trigo/milho/aveia branca/soja/cevada/soja, entre aplicação superficial e incorporação de calcário de uma mesma dose (1 SMP) foi inexpressiva (Pöttker et al., 1998) (Tabela 3). Mesmo as doses de 1/2 e 1/4 SMP, aplicadas na superfície, não resultaram em queda acentuada na produção média dessa seqüência de culturas, indicando que o retorno da acidez é mais lento que no sistema convencional de preparo do solo. Porém, os dados da Tabela 3 devem ser considerados no contexto de terem sido obtidos em solos com teor alto de P. Dessa forma, levando-se em conta o conhecido fato de haver efeito substitutivo do P pelo calcário, o efeito da calagem poderia ter sido maior se o solo não apresentasse teor elevado de P.

Tabela 1. Efeito de calcário aplicado na superfície do solo no pH e no teor de Al em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), Unidade de Mapeamento Passo Fundo, sob plantio direto. Capinguí, Passo Fundo, RS. Embrapa Trigo. Fonte: Pöttker et al. (1998).

Dose de calcário, Camada de SMP ⁽¹⁾	solo, cm	1993 (Início)		1996	
		pH (H ₂ O)	Al, cmol _c /dm ³	pH (H ₂ O)	Al, cmol _c /dm ³
0	0 - 5	5,0	1,0	4,5	1,0
	5 - 10	4,9	1,3	4,6	1,3
	10 - 20	4,7	2,9	4,8	2,8
1 - incorporado	0 - 5	5,0	1,0	4,5	1,0
	5 - 10	4,9	1,3	4,6	1,3
	10 - 20	4,7	2,9	4,8	2,8
1 - superficial	0 - 5	5,0	1,0	4,5	1,0
	5 - 10	4,9	1,3	4,6	1,3
	10 - 20	4,7	2,9	4,8	2,8
1/2 - superficial	0 - 5	5,0	1,0	4,5	1,0
	5 - 10	4,9	1,3	4,6	1,3
	10 - 20	4,7	2,9	4,8	2,8
1/4 - superficial	0 - 5	5,0	1,0	4,5	1,0
	5 - 10	4,9	1,3	4,6	1,3
	10 - 20	4,7	2,9	4,8	2,8

⁽¹⁾ 1 SMP para pH 6 = 10,7 t/ha.

Tabela 2. Resultados de pH em água, Al e Ca + Mg trocáveis, em quatro profundidades e em 2 anos, em função de doses de calcário (médias de três repetições). Epagri, Campos Novos, SC. Fonte: Wiethölter (2000), citando Carla Pandolfo (comunicação pessoal).

Doses de calcário	Profundidade, cm	pH em água		Al trocável		Ca + Mg trocáveis	
		Anos					
		1996	1999	1996	1999	1996	1999
----- cmolc/dm ³ -----							
0 SMP	0,0 - 2,5	4,6	4,4	3,8	2,2	3,5	3,9
	2,5 - 5,0	4,6	4,4	3,8	2,8	3,1	3,2
	5,0 - 10,0	4,5	4,3	3,7	3,0	3,1	3,2
	10,0 - 20,0	4,6	4,3	3,5	3,2	2,5	3,5
1/4 SMP	0,0 - 2,5	5,4	5,2	0,2	0,1	9,4	9,1
	2,5 - 5,0	5,1	5,0	1,2	0,5	7,3	7,2
	5,0 - 10,0	4,7	4,9	2,8	0,7	4,1	7,8
	10,0 - 20,0	4,5	4,7	3,5	1,4	2,3	6,2
1/3 SMP	0,0 - 2,5	5,4	5,6	0,5	0,0	9,0	10,3
	2,5 - 5,0	4,8	5,4	2,7	0,4	4,3	8,5
	5,0 - 10,0	4,7	5,2	2,7	0,5	4,1	8,0
	10,0 - 20,0	4,6	4,8	2,8	1,5	3,3	5,6
1/2 SMP	0,0 - 2,5	5,7	5,6	0,0	0,0	11,4	12,0
	2,5 - 5,0	5,2	5,3	0,6	0,7	7,5	7,9
	5,0 - 10,0	4,7	5,1	2,8	0,4	4,1	7,8
	10,0 - 20,0	4,6	4,8	3,3	0,9	2,8	7,3
1 SMP	0,0 - 2,5	6,0	5,8	0,0	0,0	12,5	12,2
	2,5 - 5,0	5,4	6,2	0,2	0,0	9,5	12,7
	5,0 - 10,0	4,8	6,0	1,8	0,0	5,2	11,8
	10,0 - 20,0	4,6	5,2	3,1	0,3	2,8	8,9

Tabela 3. Efeito da aplicação de calcário em SPD, no rendimento médio de grãos da seguinte seqüência de culturas: soja, trigo, milho, aveia branca, soja, cevada e soja. Embrapa Trigo. Fonte: Pöttker et al. (1998).

Tratamento	Solo		Média ⁽³⁾
	LVdt ⁽¹⁾	LVaft ⁽²⁾	
	----- kg/ha -----		
Testemunha (sem calcário)	2.174	2.926	2.550
1 SMP incorporado	2.857	3.439	3.148
1 SMP superfície	2.819	3.450	3.134
1/2 SMP superfície	2.756	3.448	3.102
1/4 SMP superfície	2.626	3.340	2.983
1/8 SMP superfície	2.535	3.290	2.912
1/16 SMP superfície	2.524	3.210	2.862
Média	2.612	3.300	2.956

⁽¹⁾ Latossolo Vermelho distrófico típico, Unidade de Mapeamento Passo fundo. 1 SMP = 10,7 t/ha. Cultivado no SPD desde 1990. ⁽²⁾ Latossolo Vermelho aluminoférrico, Unidade de Mapeamento Erechim. 1 SMP = 7,2 t/ha. Calagem anterior realizada em 1983. Cultivado no SPD desde 1984. ⁽³⁾ Valores médios de sete cultivos em cada solo. Em ambos os experimentos as doses de calcário foram aplicadas em 1993.

Como mencionado anteriormente, no Estado do Paraná, um dos fatos marcantes em relação ao SPD, há alguns anos, foi a constatação de que, durante a avaliação da fertilidade do solo realizada em 40 áreas sob SPD na região dos Campos Gerais (Sá, 1993), foi constatada elevada acidez em 70% delas, com valores de pH (CaCl₂ 0,01M) entre 4,0 e 4,7 (pH em água entre 4,6 e 5,3) na camada de 30-40 cm e saturação por bases na faixa de 35-45% na camada de 0-20 cm. Entretanto, segundo Sá (1999), o rendimento médio das culturas de soja e de milho, nessas áreas, foi de 3.100 e 7.280 kg/ha, respectivamente, sendo que rendimentos inferiores somente foram obtidos sob valores de saturação por bases entre 20 e 30%. Outro ponto constatado foi o pH mais baixo após o cultivo de trigo sobre os resíduos de milho em relação àquele observado quando uma leguminosa foi intercalada entre essas duas culturas. Nessa situação, a adição de N mineral para suprir as necessidades dessas gramíneas foi de 190 kg/ha (120 e 70 kg/ha para milho e trigo, respectivamente), proporcionando, ao solo, um possível efeito acidificante associado ao fertilizante nitrogenado.

Essas observações levaram à instalação de uma série de experimentos de longa duração no Estado do Paraná, tendo como objetivo a avaliação de métodos de aplicação de calcário no SPD (Sá, 1999). Os dados referentes a algumas características químicas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, antes da implantação dos experimentos nos vários locais (Tibagi, Arapoti e Ponta Grossa), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das análises químicas, em duas profundidades de amostragem, antes da implantação dos experimentos envolvendo métodos de aplicação de calcário sob plantio direto. Fonte: Sá (1999).

Profundidade cm	pH (CaCl ₂)	Al trocável cmol _c /dm ³	Matéria orgânica g/kg	Valor V ⁽¹⁾ ----- % -----	Valor m ⁽²⁾
Solo 1: Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso (640 g/kg de argila), Tibagi,					
0 - 20	4,1	1,2	38	23,4	26,0
20 - 40	4,2	1,4	35	18,2	28,3
Solo 2: Latossolo Vermelho-Amarelo, arenoso, Arapoti, PR.					
0 - 20	4,2	0,6	20	18,3	34,6
20 - 40	4,2	0,6	16	13,4	43,6
Solo 3: Cambissolo Álico, Ponta Grossa, PR.					
0 - 20	4,8	0,4	43	40,6	11,0
20 - 40	4,0	2,2	28	10,2	60,9

⁽¹⁾ Saturação da CTC a pH 7 por bases. ⁽²⁾ Saturação da CTC efetiva por Al.

No solo 1, em Tibagi, PR, no inverno de 1982, foi feita aplicação de calcário dolomítico com base no teor de Al x 2 e incorporação com arado de discos na profundidade de 0-20 cm. Posteriormente, foi semeada aveia-preta para a implantação do plantio direto com a seguinte rotação de culturas: aveia-preta/milho/aveia-preta/soja/trigo/soja. De 1982 a 1990, não foram aplicadas doses complementares de calcário e, em dezembro de 1990, foi feita a amostragem do solo, antes da implantação do experimento, sendo os resultados das análises químicas mostrados na Tabela 4.

Os tratamentos, os resultados de produção e o retorno econômico acumulados no período de 1991-1996 para três culturas de soja, duas de trigo e duas de milho, no solo 1, são mostrados na Tabela 5. Apesar da melhoria da fertilidade nas profundidades amostradas, para vários atributos (pH, V%, m%, Ca,) nos tratamentos com incorporação (principalmente os tratamentos d e e), o rendimento acumulado indicou que as cultivares suscetíveis a Al responderam com diferença estatisticamente significativa aos tratamentos com incorporação

(c, d, e), em relação à testemunha sem calcário (a), porém, foram semelhantes à aplicação em superfície (b). Nas cultivares tolerantes a Al, a aplicação em superfície (b) apresentou resultados estatisticamente iguais àqueles com incorporação (c, d, e). O comportamento entre cultivares tolerantes e suscetíveis foi diferenciado somente nos primeiros anos após a aplicação do calcário. Isso indica que a escolha de cultivares é um fator preponderante para estudos envolvendo métodos de calagem no SPD (Sá, 1999). Mesmo tendo havido melhoria da fertilidade no perfil com a incorporação do corretivo até 20 e 35 cm, o efeito da aplicação de menor dose em superfície restringiu-se à camada de 0-10 cm de profundidade. O maior retorno econômico, após sete cultivos de grãos, foi obtido com a aplicação de calcário em superfície, utilizando cultivares tolerantes à acidez. Em consequência, parece que há outros mecanismos tão ou mais importantes do que a simples elevação do teor de bases e redução da saturação por alumínio em subsuperfície.

Tabela 5. Efeitos de métodos de calagem na produção acumulada de grãos de cultivares tolerantes e suscetíveis à acidez em um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob plantio direto em Tibagi, PR, no período de 1991 a 1996. Fonte: Sá (1999).

Tratamentos	Produção acumulada		Retorno	
	no período ⁽¹⁾		econômico ⁽²⁾	
	Cultivares tolerantes	Cultivares suscetíveis	Cultivares tolerantes	Cultivares suscetíveis
	----- kg/ha -----	-----	----- R\$ -----	-----
a) Testemunha sem calcário	28.542 a	28.650 a	---	---
b) Calcário em superfície, 2 t/ha	32.308 b	31.489 b	551,00	267,26
c) Calcário incorporado com escarificador tipo cruzador, 2 t/ha	31.026 b	31.654 b	336,82	319,66
d) Calcário incorporado na camada de 0-20 cm (arado de discos), 7,1 t/ha	31.498 b	31.730 b	313,32	270,43
e) Calcário incorporado na camada de 0-35 cm (arado de aiveca), 13,5 t/ha	32.145 b	33.089 b	405,30	507,62
DMS ⁽³⁾	2.741	2.805	---	---
C.V. (%)	4,02	3,9	---	---

⁽¹⁾ Produção acumulada de três culturas de soja; duas de trigo e duas de milho;

⁽²⁾ Retorno econômico = ganho total – custo do tratamento; ⁽³⁾ Valores seguidos por letras iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey para $p < 0,05$.

Já no Latossolo Vermelho-Escuro arenoso de Arapoti, PR, (solo 2, Tabela 4), com menor teor de matéria orgânica e alumínio, tanto na camada de 0-20 como de 20-40 cm, os dados da produção acumulada de grãos (2 cultivos de soja, 1 de milho e 1 de trigo) mostram que não ocorreu resposta à calagem (Tabela 6), embora tenha ocorrido melhoria da fertilidade nas profundidades amostradas para vários atributos (pH, m%, Ca.), nos tratamentos com incorporação, com a mesma tendência observada para o Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, solo 1 (Sá, 1999). A hipótese do autor para explicar esse comportamento foi a de que a liberação de compostos orgânicos oriundos da elevada produção de resíduos de aveia-preta, antes de iniciar o experimento, pode ter atuado na mobilização de cálcio para as camadas subsuperficiais e na complexação de Al por ácidos orgânicos, conforme observado por Pavan (1996). Essa constatação é importante para o plantio direto, porque permite mudar o enfoque sobre calagem nesse sistema de manejo do solo.

Tabela 6. Efeito de método de calagem na produção acumulada de grãos de cultivares tolerantes e susceptíveis à acidez, em Latossolo Vermelho-Escuro, arenoso, sob plantio direto, em Arapoti, PR, no período de 1993 a 1995. Fonte: Sá (1999).

Tratamentos	Produção acumulada no período ⁽¹⁾	
	Cultivares tolerantes	Cultivares susceptíveis
	----- kg/ha -----	
a) Testemunha sem calcário	15.698 a	15.626 a
b) Calcário em superfície, 1,5 t/ha	16.213 a	15.526 a
c) Calcário incorporado com grade aradora (0-10 cm), 2 t/ha	15.410 a	15.124 a
d) Calcário incorporado na camada de 0-20 cm (arado de discos), 4,1 t/ha	16.675 a	16.547 a
e) Calcário incorporado na camada de 0-35 cm (arado de aiveca), 7,1 t/ha	15.557 a	17.332 a
DMS ⁽²⁾	3.177	2.583
C.V. (%)	8,86	7,15

⁽¹⁾ Produção acumulada para duas culturas de soja; uma de trigo e uma de milho;

⁽²⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey para $p < 0,05$.

É interessante notar que, mesmo no Cambissolo Álico de Ponta Grossa, PR (22,5 mmol/dm³ de Al e 60,9% de saturação por Al na camada de 20-40 cm, solo 3) (Tabela 4), há apenas três anos sob plantio direto, não houve efeito significativo no 1º ano de produção de milho, pela incorporação mais profunda de altas doses de calcário (Tabela 7, Sá, 1999), em comparação com a aplicação superficial de 2 t/ha, sendo, inclusive, esse último tratamento, o que apresentou maior índice relativo de produção. As altas produtividades de milho obtidas com a aplicação de apenas 2 toneladas de calcário por hectare para essa condição de camada subsuperficial ácida parece confirmar a hipótese de que, no plantio direto, existem mecanismos adicionais de redução do efeito prejudicial da acidez.

Tabela 7. Efeito de método de calagem no rendimento de grãos de três híbridos de milho em um Cambissolo álico, sob plantio direto há três anos, em Ponta Grossa, PR. Fonte: Sá (1999).

Tratamentos	Híbridos			Média dos tratamentos	Índice relativo
	P-3230	C-805	AG-514		
	----- kg/ha -----				
a) Calcário em superfície, 2,0 t/ha	11.406	9.561	9.935	10.300 a	100,0
b) Calcário incorporado na camada de 0-20 cm (arado de discos), 4,1 t/ha	10.452	9.530	9.982	9.988 a	97,0
c) Calcário incorporado na camada de 0-35 cm (arado de aiveca), 7,1 t/ha	10.769	9.227	9.314	9.770 a	95,0
Média dos híbridos	10.875 b	9.439 a	9.473 a	10.019	95,7
C. V. (%) = 9,1					

Um resumo de alguns resultados de pesquisa da aplicação de doses de calcário na superfície, em plantio direto, em latossolos ácidos no Estado do Paraná, foi elaborado por Caires (2000). Segundo o autor, essa prática é viável na produção de grãos em rotação no SPD, pois foram observados aumentos médios de rendimento de 4 a 42% (Tabela 8). Um fato importante foi a obtenção de produtividades relativamente altas das culturas, mesmo na

ausência de calcário em solos com acidez elevada inicialmente (pH 4,1 em CaCl_2 0,01M) confirmando observações anteriores de Sá (1993; 1999). O alto teor inicial de matéria orgânica desses solos (33 a 46 g/dm^3) e o aporte de restos de materiais vegetais mantidos na superfície do solo nos sistemas de rotação de culturas no SPD parecem confirmar os efeitos positivos sobre a acidez, quais sejam, o aumento do pH e a redução do teor de Al tóxico, conforme já discutido no tópico 2.2.

Tabela 8. Efeito da aplicação de calcário na superfície, em sistema plantio direto, sobre a produção de grãos de culturas em latossolos ácidos do Paraná. Fonte: Adaptado de Caíres (2000b).

Cultura	Análise química inicial do solo (0-20 cm)			Produção de grãos na ausência de calcário kg/ha	Dose de calcário na superfície t/ha	Aumento médio na produção %	Fonte
	pH (CaCl_2)	Al^{3+} cmol _c /dm ³	M. O. g/dm ³				
Soja	4,1	0,8	46	1.792 ⁽¹⁾	5,5	42	Oliveira e Pavan (1996)
	4,1	1,2	38	2.818 ⁽²⁾	2	20	Sá (1999)
	4,5	0,6	33	2.775 ⁽³⁾	4	9	Caíres et al., (2000a)
Milho	4,1	1,2	38	8.205 ⁽⁴⁾	2	9	Sá (1999)
	4,5	0,6	33	9.517 ⁽⁵⁾	4	4	Caíres et al., (2000a)
Trigo	4,1	1,2	38	1.865 ⁽⁶⁾	2	4	Sá (1999)
	4,5	0,6	33	1.365 ⁽⁷⁾	4	34	Caíres et al., (2000a)

⁽¹⁾ Valor médio de quatro cultivos (soja/centeio/soja/trigo/soja/trigo/soja). ⁽²⁾ Valor médio de três cultivos (soja/aveia preta/milho/trigo/soja/aveia preta/milho/trigo/soja). ⁽³⁾ Valor médio de quatro cultivos (soja/ervilhaca mais aveia preta/milho/pousio/soja/trigo/soja/triticale/soja). ⁽⁴⁾ Valor médio de dois cultivos (soja/aveia preta/milho/trigo/soja/aveia preta/milho). ⁽⁵⁾ Valor referente a apenas um cultivo (soja/ervilhaca mais aveia preta/milho). ⁽⁶⁾ Valor médio de dois cultivos (soja/aveia preta/milho/trigo/soja/aveia preta/milho/trigo). ⁽⁷⁾ Valor médio referente a apenas um cultivo (soja/ervilhaca mais aveia preta/milho/pousio/soja/trigo).

2.2.2. Efeitos da calagem superficial nas camadas subsuperficiais do solo.

Outro aspecto importante em relação à calagem no SPD é o possível movimento do calcário aplicado na superfície do solo e se esse fato apresenta efeitos significativos em relação à melhoria de atributos de acidez (pH, teor de Al, Ca, Mg, V% e m%) nas camadas subsuperficiais do solo. Há trabalhos que indicam que o calcário não se movimenta para camadas profundas do solo (González-Erico et al., 1979; Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), enquanto que outros encontraram consideráveis aumentos no pH e teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação de calcário, em áreas de culturas anuais preparadas convencionalmente (Quaggio et al., 1983; Oliveira et al., 1997; Caires e Rosolem, 1998) e em culturas perenes (Chaves et al., 1984; Pavan, 1994).

Especificamente em SPD, algumas pesquisas mostram efeitos significativos da aplicação de calcário na superfície nas camadas subsuperficiais do solo, como é o caso dos resultados obtidos por Oliveira e Pavan (1996), em um Latossolo Vermelho textura argilosa que havia sido cultivado por décadas pelo sistema convencional de preparo, e por Caires et al. (1998, 1999, 2000) em um Latossolo Vermelho textura média manejado há quinze anos sob SPD, ambos no Paraná. Os dados da Figura 3 indicam que a calagem proporcionou não só aumentos significativos no pH, Ca+Mg trocáveis e saturação por bases, mas também redução significativa nos teores de H+Al, nas cinco profundidades estudadas. Os efeitos observados nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, embora menos intensos que nas camadas superficiais, mostram os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez no subsolo. Esse comportamento foi também observado, nas camadas de 10-20 cm, em experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (Tabelas 1 e 2), e até 40 cm de profundidade, em outros três solos no Estado do Paraná (Sá, 1999).

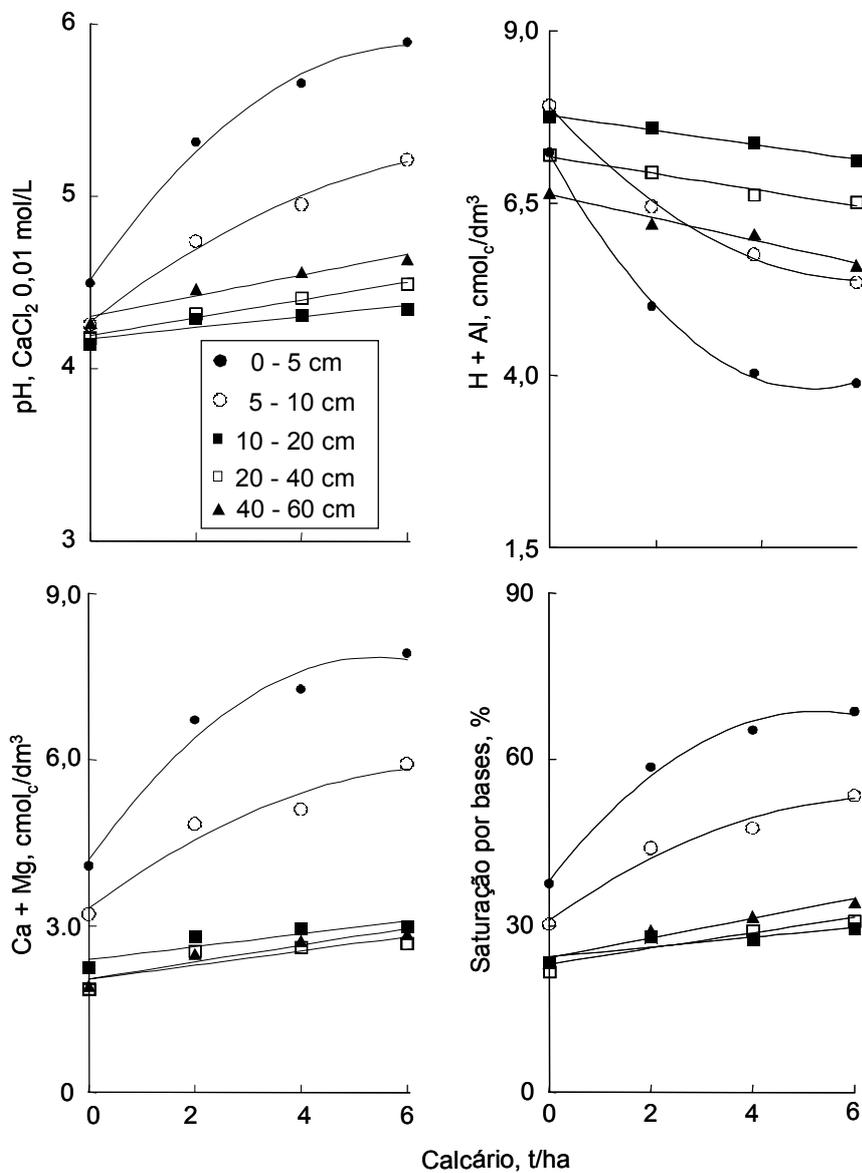


Figura 3. Alterações de atributos de solo em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho, textura média, considerando a aplicação de doses de calcário na superfície em SPD. Pontos são médias de cinco amostragens de solo realizadas no período de 1993 a 1998. Fonte: Adaptado de Caíres et al. (2000).

O tempo de reação de calcário aplicado na superfície em SPD pode variar em função da dose aplicada, do tipo de solo, da adubação, do sistema de rotação e manejo dos resíduos culturais, da reatividade do corretivo e da precipitação pluvial (Caires, 2000). Em Latossolo Vermelho textura média da região centro-sul do Paraná (Figura 3, Caires et al., 2000), foi observado grande efeito da calagem superficial em vários atributos de acidez avaliados até 10 cm de profundidade, após 12 meses, com a máxima reação do calcário ocorrendo entre 28 e 30 meses de sua aplicação. Na camada de 10-20 cm, o efeito do calcário aplicado na superfície foi bem mais lento, ocorrendo aumentos mais pronunciados no pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases e maior redução na acidez potencial somente após 28 meses (Caires et al., 2000).

Os dados apresentados nesse tópico, obtidos na região Sul do Brasil, demonstram que o calcário aplicado na superfície no SPD apresenta efeitos significativos na correção da acidez de subsolos e benefícios na produção das culturas sob esse sistema. Demonstram, ainda, que esses efeitos são altamente dependentes das doses de calcário aplicadas, do tempo decorrido da aplicação superficial bem como, são, certamente, dependentes da precipitação pluvial. Entretanto, ainda não há consenso sobre os mecanismos que possam explicar esses efeitos no subsolo e várias hipóteses têm sido levantadas por diversos pesquisadores, com destaque para as proposições apresentadas por Caires et al., (2000) e mostradas a seguir:

a) a formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas subsuperficiais do solo, tendo em vista que, no SPD, a acidez superficial, como explicada anteriormente, é diminuída por diferentes mecanismos, tendo os resíduos orgânicos um papel de destaque (Oliveira e Pavan, 1996), pelo menos temporariamente;

b) a ocorrência de deslocamento mecânico de partículas de calcário através de canais formados por raízes mortas e insetos, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (Pavan, 1994);

c) a adição de calcário e fertilizantes nitrogenados levando a redução da acidez em razão da absorção de nitrato e exsudação de OH^- e HCO_3^- pelas raízes (Raij et al., 1988);

d) a permanência de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição por microrganismos dos ligantes orgânicos (L^-) complexando Ca^{2+} da camada superficial na forma de CaL^o ou CaL^- . A alteração da carga do Ca^{2+} mediante a formação de pares iônicos do tipo CaL^- facilita a sua mobilidade no solo e, na camada subsuperficial, o Ca desses complexos orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons Al^{3+} formam complexos mais estáveis do que o Ca^{2+} , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável (Pavan e Roth, 1992; Oliveira e Pavan, 1996; Ziglio et al., 1999). Reações semelhantes também ocorrem com magnésio (Miyazawa et al., 2000).

Os dados apresentados nesse tópico, envolvendo experimentos de longa duração, permitem inferir critérios técnicos específicos para a prática da calagem no SPD, nos seguintes termos:

a) É possível atingir altas produtividades das culturas em rotação no SPD, pela aplicação de calcário na superfície do solo em doses menores que aquelas utilizadas no sistema convencional, especialmente quando o teor de P no solo é satisfatório;

b) A probabilidade de obtenção de resultados positivos pela aplicação de menores doses de calcário na superfície do solo no SPD é maior quando é praticada rotação de culturas e quando são utilizadas cultivares tolerantes a acidez;

c) O efeito da aplicação de calcário na superfície do solo no SPD, em relação a atributos da acidez do solo (pH, Al, Ca+Mg, V% e m%), é acentuado na camada de 0-10 cm;

d) Com o passar dos anos de implantação do SPD, podem ocorrer melhorias nos atributos de acidez do solo (pH, Al, Ca+Mg, V% e m%) nas camadas subsuperficiais do solo,

mas essas alterações são significativas apenas quando são usadas altas doses de calcário aplicadas na superfície;

e) Quando são usadas pequenas doses de calcário com aplicação na superfície do solo no SPD, as alterações nos atributos de acidez (pH, Al, Ca+Mg, V% e m%) abaixo da camada de 0-10 cm não parecem suficientes para explicar as altas produtividades alcançadas pelas culturas nesse sistema.

f) Para solos em que a camada subsuperficial do solo é extremamente ácida, com altos teores de Al trocável, baixos teores de Ca + Mg trocáveis, baixa saturação por bases (V%) e alta saturação por Al da CTC efetiva (m%), é recomendável, na última calagem antes de entrar no SPD, fazê-la em dose para atingir saturação por bases >60%, com incorporação do calcário o mais profundo possível.

2.3. Fósforo

O comportamento do fósforo no SPD difere, em relação ao SPC, em dois pontos básicos: (a) o não revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção, mormente se a adubação foi na linha de semeadura; (b) a mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos proporciona a formação de formas orgânicas de P menos suscetíveis às reações de adsorção (Sá, 1999). Outro aspecto que cabe destacar é que, com o passar dos anos de implantação do SPD, ocorre um acúmulo de fósforo na camada superficial do solo, sobretudo, nos primeiros 5 a 10 cm. Isto tem sido observado em vários trabalhos entre os quais destacam-se os de Muzilli (1983), Sidiras e Pavan (1985) e Sá (1993). Nas mesmas 40 áreas, envolvendo as diversas unidades pedológicas dos Campos Gerais do Paraná e com tempos variáveis de adoção do SPD anteriormente mencionadas, Sá (1993) observou que a maior concentração de fósforo ocorria, principalmente, na camada de 0 a 2,5 cm, confirmando a baixíssima mobilidade desse nutriente sob esse sistema (Tabela 9).

Tabela 9. Distribuição de fósforo extraível do solo (Mehlich) em seis profundidades, no perfil de cinco solos, sob plantio direto na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná. Fonte: Sá (1993).

Profundidade cm	Solos avaliados					Média
	LE arenoso ⁽¹⁾	LV argilo- arenoso ⁽²⁾	LV argiloso ⁽³⁾	LE argiloso ⁽⁴⁾	Cb arenoso ⁽⁵⁾	
	mg/dm ³					
0,0 – 2,5	28,8	79,2	129,0	119,7	82,5	87,8
2,5 – 5,0	17,9	35,5	89,6	68,5	58,8	54,1
5,0 – 10,0	10,7	10,6	36,6	59,8	67,5	37,0
10,0 – 20,0	2,9	3,0	11,5	12,2	13,1	6,4
20,0 – 30,0	0,9	0,9	1,3	1,5	2,5	1,4

⁽¹⁾ SPD = 4 anos; ⁽²⁾ SPD = 9 anos; ⁽³⁾ SPD = 16 anos; ⁽⁴⁾ SPD = 15 anos; ⁽⁵⁾ SPD = 15 anos.

A baixa mobilidade do fósforo e maior disponibilidade na camada superficial do solo é decorrente da aplicação anual de fertilizantes fosfatados em sulco ou a lanço, da liberação de fósforo orgânico através da decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície e da menor intensidade de fixação de fósforo ocasionada pelo menor contato desse nutriente com os constituintes inorgânicos passíveis de alta fixação de P (óxidos, oxi-hidroxi e hidróxidos de ferro e alumínio) (Muzilli, 1983; Sidiras e Pavan, 1985; Sá, 1993; Sá, 1995; Sá, 1999; Caires, 2000; Sousa e Lobato, 2000).

O comportamento específico do fósforo no SPD tem implicações no manejo da adubação fosfatada, principalmente em áreas já estabilizadas e com muitos anos de adoção desse sistema. A ação isolada ou conjunta desses fatores (aplicação localizada em sulco, maior participação do fósforo orgânico e menor fixação de fósforo) tem levado a respostas bem menos pronunciadas a altas doses de fósforo em alguns experimentos sob SPD. Em experimento instalado em setembro de 1991, em um Latossolo Vermelho-Amarelo do Paraná, com três anos sob plantio direto, foram avaliadas, nos três anos subsequentes, cinco doses de P₂O₅/ha, aplicadas no sulco de semeadura, na rotação aveia-preta/soja/trigo/soja/aveia-preta/milho. O teor de fósforo no extrator Mehlich-1, na camada de 0-20 cm, antes da implantação era de 1 mg/dm³. Durante os três anos de avaliação foi observada resposta somente para a dose de 30 kg de P₂O₅/ha (Tabela 10, Sá, 1999).

Tabela 10. Efeito de doses de fósforo no rendimento de grãos de milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob plantio direto, em três anos de avaliação. Fonte: Sá (1999).

Dose de P ₂ O ₅	Ano			Média
	1991/92	1992/93	1993/94	
	----- kg/ha -----			
0	7.717 a	5.664 a	6.227 a	6.536
30	8.976 b	6.181 a	7.071 a	7.409
60	8.942 b	6.564 a	6.905 a	7.470
90	8.928 b	6.928 a	7.253 a	7.703
120	9.216 b	6.732 a	6.761 a	7.569

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Após a colheita da safra 1991/1992, foram coletadas amostras de solo para determinar o P-total, o P-inorgânico, o P-orgânico e o P extraído por resina de troca aniônica, atributos importantes para explicar as baixas respostas às doses de fósforo nesse experimento (Tabela 11). O conteúdo do P-orgânico foi em média 2,2 vezes superior ao P-inorgânico em todas profundidades analisadas.

Tabela 11. Conteúdo de P-total (Pt), P-inorgânico (Pi), P-orgânico (Po), percentagem de P-orgânico (Po %) em relação ao P-total e P extraível por resina de troca aniônica (Pr), em Latossolo Vermelho-Amarelo sob plantio direto em Castro (PR). Fonte: Adaptado de Sá (1999).

Profundidade	Pt	Pi	Po	Po	Pr
cm	----- mg/kg -----			%	mg/kg
0,0 – 2,5	311	91,5	219,5	70,6	10,0
2,5 – 5,0	251	76,8	174,2	69,4	7,8
5,0 – 10,0	271	84,1	186,9	69,0	16,8
10,0 – 20,0	210	62,5	147,5	70,2	7,8
20,0 – 30,0	179	58,9	120,1	67,1	6,9

Um fato que merece destaque nos dados da Tabela 11 é que todos os dados do P-resina enquadram-se na classe baixa, no qual seria esperada maior resposta para a aplicação de fósforo. Sá (1999), com base em vários trabalhos de pesquisa desenvolvidos no exterior e nos de Guerra (1993) e Sá (1994) no Brasil, explica que esse comportamento é respaldado no argumento de que a fração orgânica de P poderia ser o reservatório principal de reabastecimento do íon fósforo para a solução do solo no sistema plantio direto. Porém, essa possibilidade talvez só venha a ocorrer após ter

cessado o acúmulo de matéria orgânica no solo, pois, para haver formação de matéria orgânica nova há necessidade de uma fonte de P, já que a matéria orgânica contém cerca de 0,5% desse nutriente.

Em outro trabalho foram igualmente obtidas pequenas respostas à adubação fosfatada - em geral entre 30 e 60 kg de P_2O_5 /ha, para a média geral dos dados - em diversas unidades pedológicas sob plantio direto em sete localidades da região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, (Tabela 12; Sá, 1999). O que chama atenção, quando se observam os resultados dos experimentos individualmente, é que tanto os dados do fósforo extraído pelo método Mehlich-1 quanto os de resina (ambos de amostras tomadas na camada de 0-20 cm) não explicam o nível de resposta da cultura do milho em áreas sob SPD. Mesmo os solos 1, 2, 5 e 6, pobres em fósforo pelo método Mehlich-1, e 2 e 5, que também o são pelo método da resina, não apresentaram altas respostas aos aumentos da dose de fósforo. Segundo Sá (1999), a utilização de extratores que avaliam uma pequena proporção do P-inorgânico não permite explicar o nível de resposta da cultura, havendo outros fatores envolvidos e que não foram quantificados.

Tabela 12. Efeito de doses de fósforo aplicadas no sulco de semeadura no rendimento de grãos de milho (médias de quatro repetições) sob plantio direto (SPD) em diversas unidades pedológicas dos Campos Gerais, Paraná. Fonte: Sá (1999).

Doses de P_2O_5	Solos							Média
	LEd aren. ⁽¹⁾	Cb aren. ⁽²⁾	LV arg. ⁽³⁾	Cb aren. ⁽⁴⁾	Rubrozém arg. ⁽⁵⁾	LV arg. ⁽⁶⁾	LE arg. ⁽⁷⁾	
	kg/ha							
0	8.217	8.274	6.850	6.011	7.128	6.227	8.380	7.298
30	9.113	9.148	7.383	6.162	7.990	7.071	9.112	7.997
60	9.404	8.567	7.870	7.140	7.787	6.905	9.144	8.117
90	9.609	8.839	7.371	6.684	7.709	7.253	9.009	8.068
120	9.566	7.984	7.178	6.144	7.913	6.761	8.688	7.748
D.M.S. (Tukey 5%)	987	2.864	1.157	1.945	1.160	1.527	800	-
C. V. (%)	4,8	14,7	6,9	13	6,8	9,9	4	-
P-Mehlich ⁽⁸⁾	6	5	44	12	3	1	7	-
P-resina ⁽⁸⁾	61	10	101	41	8	27	59	-

⁽¹⁾Tibagi: SPD 6 anos; ⁽²⁾Carambei: SPD 2 anos; ⁽³⁾Castrolanda: SPD 18 anos; ⁽⁴⁾Castro SPD 7 anos; ⁽⁵⁾Curitiba: SPD 2 anos; ⁽⁶⁾Castrolanda: SPD 3 anos; ⁽⁷⁾Tibagi: SPD 12 anos.

⁽⁸⁾Teor de P em mg/dm^3 na profundidade de amostragem de 0-20cm.

O P orgânico representa de 30 a 70% do P total presente no solo. As formas de P orgânico presentes no solo englobam ortofosfatos de monoésteres (R-O-PO₃), representados pelos (hexa)fosfatos de inositol, ortofosfatos de diésteres, ou seja, os ácidos nucleicos e fosfolipídeos, e os fosfonatos, que são moléculas contendo radicais de fosfato associados a compostos orgânicos (Novais e Smyth, 1999). Para que o P associado à matéria orgânica do solo seja aproveitado pelas plantas, é preciso que haja a conversão do P orgânico a inorgânico, através do processo de mineralização, cujas reações em solo são mediadas por enzimas denominadas fitases e fosfatases (Stevenson, 1986).

Em solos mais intemperizados, o P associado a compostos orgânicos representa de 25 a 35% do P total (Oliveira et al., 2002). Nesses solos, invariavelmente, constata-se a presença de baixos teores disponíveis de P para as plantas, em função de o caráter-dreno de P de solos mais intemperizados predominar sobre o caráter-fonte, o que torna o solo mais competitivo do que a planta pelo fósforo aplicado na forma de fertilizantes solúveis (Novais e Smyth, 1999). É bastante provável, que na fase inicial (cinco primeiros anos) de implantação do SPD, o P seja imobilizado em compartimentos de matéria orgânica novos, ou dos já existentes, como ocorre com o nitrogênio (Oliveira et al., 2002), havendo, portanto, imobilização de P. A ausência de revolvimento e a maior permanência de palha nas áreas de plantio favorecem a ciclagem de P no solo, o que resulta em acúmulo desse nutriente nas camadas superficiais (Oliveira et al., 2002), acompanhando, portanto, o aumento de matéria orgânica. Esse acúmulo de P na superfície do solo pode ser acompanhado de um aumento na contribuição do P orgânico ao P total na camada de solo de 0 a 10 cm de profundidade (Selles et al., 1997), ou nas camadas subsuperficiais do solo (Rheinheimer et al., 1998), em função de uma possível maior mobilidade das formas de P orgânico no perfil, em relação às formas inorgânicas (Oliveira et al., 2002).

Em áreas com mais de 6 anos de implantação do SPD, ou seja, nos locais onde já ocorreu um aumento e estabilização dos estoques de matéria orgânica do solo, é bastante provável que haja um uso mais eficiente de P pelas plantas, em função do bloqueio de sítios inorgânicos de adsorção de P por moléculas orgânicas (Stevenson, 1996), da saturação desses mesmos sítios em função da aplicação superficial de fertilizantes e da maior presença nas áreas de SPD de P-lábil e P associado à biomassa microbiana (Selles et al., 1997; Oliveira et al., 2002). Com o

tempo, isso pode representar uma diminuição na aplicação de fertilizantes fosfatados nas áreas de SPD, em relação às quantidades aplicadas em áreas onde há revolvimento do solo, ou, pelo menos, a possibilidade de obtenção de produtividades maiores com as mesmas quantidades de fertilizantes preconizadas para sistemas de cultivo convencional, onde o solo é arado..

Um componente adicional na avaliação do nível de resposta dentro da rotação de culturas no sistema de produção no plantio direto é o efeito da adubação sendo diluído em função das culturas em seqüência, tornando ainda mais complexa a interpretação (Sá, 1999). Mesmo assim, o que tem sido observado confirma a tendência geral das respostas às doses de fósforo serem mais baixas e se situarem entre 30 a 60 kg de P_2O_5 /ha para aplicações no sulco de semeadura das culturas em sucessão, como mostrado na Tabela 13, em experimento instalado em uma área após 13 anos de plantio direto, no Estado do Paraná (Sá, 1999).

Tabela 13. Rendimento de grãos de milho, trigo e soja em um LEd, argiloso, sob plantio direto, submetido a doses de fósforo aplicadas no sulco de semeadura. Fonte: Sá (1999).

Cultura	----- Produção por P_2O_5 aplicado -----				
	0	30	60	90	120
	----- kg/ha -----				
Milho (1993/1994)	8.380	9.112	9.144	9.009	8.688
Trigo (1994)	920	933	1.043	1.022	1.062
Soja (1994/1995)	2.571	2.814	2.816	2.931	2.869
Produção acumulada	11.871	12.859	13.003	12.962	12.619
P_2O_5 acumulado	-	90	180	270	360
Eficiência relativa das doses acumuladas de P_2O_5 ⁽¹⁾	-	10,9	6,2	4,0	2,1

⁽¹⁾ (Produção acumulada por tratamento – produção acumulada da testemunha) / kg de P_2O_5 acumulado.

Um dos maiores desafios para a pesquisa em relação a adubação fosfatada no SPD é o estabelecimento de padrões confiáveis de interpretação de análise de solo, já que existem evidências de que a fração orgânica de P pode ser um reservatório importante para o reabastecimento do íon fosfato na solução do solo no plantio direto (Guerra, 1993; Sá, 1994). Cabe citar que praticamente todos os trabalhos de calibração de análise de fósforo disponível do solo, no Brasil, seja pelo método do duplo ácido (Mehlich) ou pela resina de troca aniônica - os principais extratores de fósforo utilizados no país - foram feitos com amostras de solo tomadas na camada arável (0-20 cm), em áreas submetidas anualmente às práticas de aração e gradagem e sem o aporte de resíduos culturais na superfície do solo.

Embora em número reduzido, existem trabalhos evidenciando que o P-resina e mesmo o carbono orgânico apresentam melhor correlação com o P-orgânico total do solo do que o P-Mehlich, conforme mostrado na Tabela 14, para seis solos sob SPD no Estado do Paraná (Sá, 1999). Também em um experimento em uma área com treze anos sob plantio direto, os coeficientes de correlação linear (r) para P-resina foram superiores aos observados para P-Mehlich, para a profundidade de amostragem de 0-10 cm, em relação a vários atributos de planta, inclusive para rendimento de grãos do milho (Tabela 15, Sá, 1999).

Tabela 14. Coeficiente de correlação linear entre o P-orgânico do solo (valores de seis anos sob plantio direto), frações inorgânicas extraíveis por Mehlich e resina de troca aniônica e o carbono orgânico. Fonte: Sá (1999).

P-Mehlich	P-resina	Carbono orgânico
0,43*	0,77***	0,66***

*, *** Ao nível de significância do coeficiente de correlação para $p < 0,05$ e $p < 0,001$, respectivamente.

Tabela 15. Coeficiente de correlação linear (r) entre o P extraído por Mehlich e resina de troca aniônica em três profundidades de amostragem (cm) em um LE argiloso, há treze anos sob plantio direto e atributos relacionados a P na planta de milho. Fonte: Sá (1999).

Atributos de planta	Métodos de extração de P e profundidade de amostragem					
	P-Mehlich			P-resina		
	----- Profundidade (cm) -----					
	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20
Folha índice (%P) ⁽¹⁾	0,94	0,98	-0,29	0,81	0,96	-0,20
Massa seca (%P) ⁽²⁾	0,90	0,87	-0,03	0,77	0,98	-0,15
Grãos (%P) ⁽³⁾	0,88	0,84	-0,08	0,83	0,91	-0,45
Massa seca-extração ⁽⁴⁾	0,68	0,75	-0,33	0,95	0,94	-0,25
Grãos-extração ⁽⁴⁾	0,67	0,64	-0,10	0,44	0,76	-0,57
Rendimento de grãos	0,45	0,54	-0,69	0,52	0,75	-0,56
Média	0,75	0,77	-0,22	0,72	0,88	-0,36

⁽¹⁾ Porcentagem de P no tecido foliar (terço médio da folha) no estágio de florescimento. ⁽²⁾ Porcentagem de P no tecido da parte aérea da planta no estágio de maturação fisiológica. ⁽³⁾ Porcentagem de P nos grãos. ⁽⁴⁾ Quantidade de P extraído pela parte aérea (colmo + folhas) no estágio de maturação fisiológica e pelo grão.

Um aspecto interessante em relação à adubação fosfatada, sucessão e rotação de culturas e sistemas de cultivo (convencional e plantio direto) foi observado por Kochhann (1991). Este autor comparou esses sistemas através da aplicação de doses de P_2O_5 no SPD (0, 20, 40, e 80 kg/ha) e no sistema convencional (40 kg/ha), em um Latossolo Vermelho distrófico típico, Unidade de Mapeamento Passo Fundo, no Rio Grande do Sul, com teor inicial de 10 mg P/dm³ de solo pelo extrator Mehlich-1. Os dados resumidos na Tabela 16 apresentam o rendimento médio de 14 cultivos de trigo, 10 de soja e 7 de milho. Nesse caso, também, à semelhança daqueles resultados obtidos no Paraná (Sá, 1999), verificou-se que a resposta à aplicação de fósforo no plantio direto foi pequena, pois o solo já apresentava um teor de P considerado suficiente. Na dose de 40 kg de P_2O_5 /ha, a soma de todos os rendimentos médios indicou que o SPD apresentou rendimento 3,6% superior ao SPC, cuja tendência poderia ser interpretada como um efeito vantajoso e duradouro do SPD.

Outro aspecto dos dados da Tabela 16 é o efeito da rotação de culturas nos rendimentos de trigo e de soja, quando comparados com a simples sucessão trigo-soja. O trigo apresentou rendimento médio de 8,8% ($2.998/2.756 = 1,088$) superior quando cultivado na rotação trigo/soja, linho/soja, aveia preta+ervilhaca/milho, comparativamente ao cultivado na seqüência trigo-soja. De forma equivalente, a soja cultivada em rotação no esquema trigo/soja, linho/soja, aveia preta+ervilhaca/milho conferiu rendimento médio 29% ($2.272/1.766 = 1,29$) superior ao da soja cultivada na sucessão trigo-soja. Esses dados são exemplos inquestionáveis dos efeitos benéficos da rotação de culturas no SPD.

Tabela 16. Efeito da aplicação de P ao solo nos sistemas plantio direto e convencional de manejo do solo. Embrapa Trigo, 1985 a 1991. Fonte: Kochhann (1991).

P ₂ O ₅ ⁽¹⁾	Trigo em sucessão ⁽²⁾	Trigo em rotação ⁽³⁾	Soja em sucessão ⁽⁴⁾	Soja em rotação ⁽⁵⁾	Milho ⁽⁶⁾	Soma ⁽⁷⁾
----- kg/ha -----						
Plantio direto						
0	2.588	2.743	1.692	2.091	4.624	13.738
20	2.686	2.964	1.793	2.276	4.750	14.469
40	2.874	3.059	1.751	2.370	5.262	15.316 ⁽⁸⁾
80	2.994	3.226	1.884	2.383	5.380	15.867
Convencional						
40	2.636	3.000	1.705	2.241	5.208	14.790 ⁽⁸⁾
Média	2.756	2.998	1.766	2.272	5.045	-
Efeito da rotação, %	-	8,8	-	29	-	-

⁽¹⁾Aplicado a cada cultura, no sulco de semeadura, de 1985 a 1991. ⁽²⁾Trigo cultivado em sucessão a soja; valores médios de 7 cultivos. ⁽³⁾Trigo cultivado em rotação: trigo/soja, linho/soja, aveia preta+ervilhaca/milho; valores médios de 7 cultivos. ⁽⁴⁾Soja cultivada em sucessão a trigo; valores médios de 5 cultivos. ⁽⁵⁾Soja cultivada em rotação: trigo/soja, linho/soja, aveia preta+ervilhaca/milho; valores médios de 5 cultivos. ⁽⁶⁾Milho cultivado em rotação: trigo/soja, linho/soja, aveia preta+ervilhaca/milho; valores médios de 7 cultivos. ⁽⁷⁾ Soma da média dos rendimentos, envolvendo 31 cultivos. ⁽⁸⁾Diferença entre plantio direto e convencional igual a 3,6% ($15.316/14.790 = 1,036$).

Uma preocupação, em relação ao manejo da adubação fosfatada no SPD, é se a aplicação superficial, tanto em linha como a lanço na

superfície, é uma forma que representa alta eficiência agronômica da aplicação desse insumo ao longo dos anos de cultivo sob esse sistema. Isso decorre principalmente porque se pensava que o P necessitava ser uniformemente incorporado na camada arável para que maior volume de raízes tivesse contato com o P do fertilizante. Os dados apresentados na Tabela 17 mostram o teor de P em várias camadas do solo, quatro anos após o início do experimento, com a aplicação de doses de P_2O_5 no sulco de semeadura de 8 cultivos. Verifica-se que, na dose de 40 kg de P_2O_5 /ha, os teores de P na camada de 0-5 cm foram semelhantes no SPD e SPC, 23,0 e 22,8 mg P/dm³, respectivamente, com valores ligeiramente menores nas camadas de 5-10 e 10-20 cm no SPD. Entretanto, a soma das produções das 31 culturas mostradas na Tabela 16 mostrou 3,6% de ganho adicional para a aplicação de 40 kg de P_2O_5 /ha em linha no SPD, em relação à mesma dose no plantio convencional.

Tabela 17. Teores de P e de K no solo em função da aplicação de doses de P_2O_5 , no sulco de semeadura em 8 cultivos, entre 1985⁽¹⁾ e 1989. Fonte: Kochhann (1991).

P_2O_5 kg/ha	Profundidade cm	P ----- mg/dm ³ -----	K
Plantio direto			
0	0-5	13,5	192
0	5-10	10,7	133
0	10-20	10,9	81
20	0-5	18,4	188
20	5-10	11,6	141
20	10-20	11,1	74
40	0-5	23,0	185
40	5-10	12,3	148
40	10-20	10,5	82
80	0-5	33,0	184
80	5-10	15,9	122
80	10-20	13,4	82
Convencional			
40	0-5	22,8	180
40	5-10	16,9	141
40	10-20	13,8	98

⁽¹⁾ Teor inicial de P no solo igual a 10 mg/dm³.

Esses dados ajudam a esclarecer, para as nossas condições, resultados experimentais com fósforo marcado (^{32}P) obtidos já na década de 60 com a cultura do milho nos Estados Unidos, onde se observou que o ^{32}P -fertilizante aplicado na superfície do solo no SPD é absorvido pelas plantas nos períodos iniciais de seu desenvolvimento, em quantidade superior àquela observada quando incorporado ao solo no sistema convencional. Isso ocorre porque, à medida que aumenta a proporção de solo fertilizado com P, a absorção aumenta porque maior volume de raízes entra em contato o P-fertilizante, até que a absorção atinge um máximo e, então, diminui, pois o teor de P no solo adubado diminui mais que o aumento da área radicular (Tabela 18). Além disso, as raízes em geral se desenvolvem mais densamente nos pontos em que há maior suprimento de P (Klepker e Anghinoni, 1993) e a absorção máxima de P ocorre quando 20% do volume de solo foi adubado, o que corresponde a uma camada de solo de 4 ou 5 cm (Anghinoni e Barber, 1980; Barber, 1998). Porém, a eficiência de absorção de P pelas plantas também é dependente da interação entre a dose de P, a fração de solo fertilizado, o teor de P no solo e a capacidade de retenção de P (Figura 4, Anghinoni, 2003). Assim, doses menores de P são mais eficientes quando misturadas com menores frações de solo e, à medida que as doses aumentam, frações intermediárias de mistura com o solo são mais eficientes. Já para doses elevadas de P, o efeito da mistura não é importante (Anghinoni, 2003). No SPD, as razões para a eficiência da aplicação superficial de P são atribuídas ao maior teor de água (necessário para a difusão de P) na camada superficial do solo e também porque, havendo maior teor de matéria orgânica nessa camada, haverá menor atividade de Al^{3+} , além do P ligado ao Al nessa matéria orgânica ser mais solúvel que o P ligado à argila (Thomas, 1986).

Tabela 18. Percentagem de ^{32}P absorvido por milho em função do método de aplicação de P. Fonte: Singh et al. (1966).

Dias após a semeadura	% de P como ^{32}P		% de P na planta	
	Plantio direto na superfície	Convencional incorporado	Plantio direto na superfície	Convencional incorporado
30	54	16	0,22	0,15
46	43	32	0,18	0,18
60	25	21	0,16	0,13
67	36	37	0,15	0,15

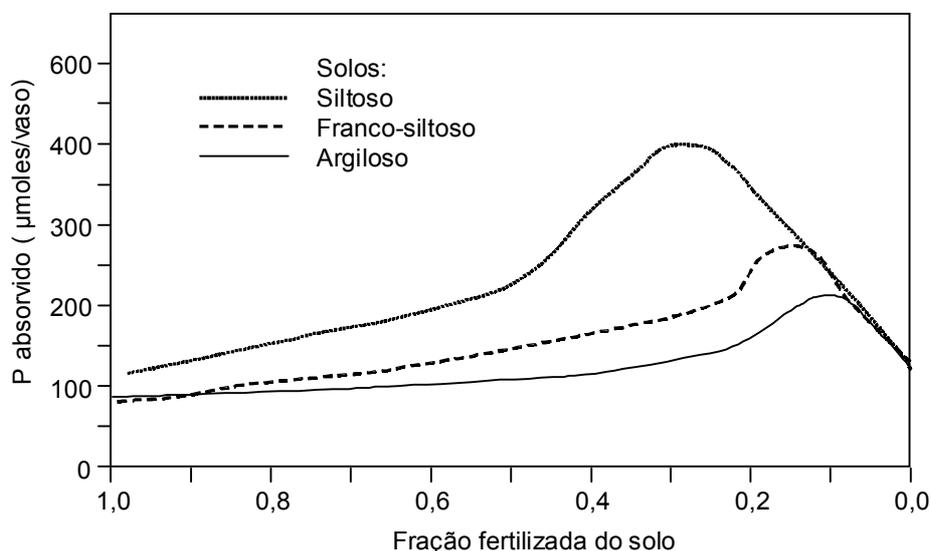


Figura 4. Fósforo predito absorvido pelo milho em função da adição de 100 mg de P/kg em diferentes frações de solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo. Fonte: Anghinoni (2003).

2.4. Nitrogênio

Um dos nutrientes cuja dinâmica é mais influenciada no SPD do que no SPC é o nitrogênio. O aporte contínuo de resíduos vegetais na superfície do solo e, por conseqüência, de carbono e de nitrogênio – fato este indispensável ao funcionamento do sistema – contribuem significativamente para a melhoria da qualidade do solo.

O nitrogênio é o nutriente que mais limita o desenvolvimento, produtividade e biomassa da maioria das culturas. Esse nutriente, quando suprido pelo solo, na maioria dos casos, não é suficiente para garantir altas produtividades, havendo necessidade de um aporte externo desse elemento ao sistema (Freire et al., 2000). Além disso, devido às transformações microbiológicas por que passa no solo, o nitrogênio está sujeito a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação, constituindo-se, na forma de NO_3^- , quando em excesso, um eventual poluente de mananciais d'água. Porém, conforme indicado no item 2.4.1, a lixiviação de N na forma de nitrato geralmente é de pouca expressão, mormente

nos períodos em que há crescimento de plantas. É necessário, portanto, que os processos envolvidos na incorporação e transformação de N, perdas de solo e de fertilizantes sejam compreendidos, para que se possam desenvolver estratégias de manejo que contribuam para aumentar a eficiência de aproveitamento do nitrogênio (Freire et al., 2000).

A reserva de N orgânico, que representa cerca de 95% do total de N no solo, está sujeita a uma série de transformações mediadas por microrganismos, que irão determinar as relações de equilíbrio entre as formas orgânicas e inorgânicas, sendo as formas iônicas de NO_3^- e NH_4^+ , as absorvidas pelas plantas.

A taxa de **mineralização**, ou seja, a velocidade de decomposição de resíduos vegetais e a transformação de N em NH_4^+ e NO_3^- depende da temperatura, relação C/N dos resíduos vegetais, pH, tipo de argila e umidade do solo. Nas regiões de clima temperado, a temperatura é um fator limitante na primavera, enquanto que nos climas tropicais e subtropicais, a mineralização raramente é limitada pela temperatura do solo, exceto durante o inverno nas regiões subtropicais. Nos trópicos, a alternância dos ciclos de molhamento e secagem do solo, a relação C/N dos resíduos vegetais e o pH do solo são os fatores que exercem papéis primordiais nas transformações químicas do nitrogênio, afetando os processos microbiológicos envolvidos na mineralização.

O processo de mineralização predomina no caso da presença de resíduos que possuem relação C/N ao redor de 15/1 a 20/1 (soja, feijão, trevo, nabo forrageiro e ervilhaca, dentre outros). Já uma relação C/N mais ampla, superior a 30/1, ou seja, quando existe falta de N no sistema, em decorrência da presença de resíduos vegetais ricos em carbono (aveia, centeio, milho, milho e trigo, dentre outros), resulta na **imobilização** temporária de N mineral pela biomassa microbiana. Nesse caso, para decompor o resíduo vegetal, os microrganismos precisam incorporar N em suas células na forma de proteínas, aminoácidos e outros compostos e, estando em quantidades insuficientes no resíduo, o N passa a ser obtido através de formas minerais (NH_4^+ e NO_3^-) existentes no solo (Caires, 2000).

alta relação C/N, antes do plantio de uma cultura resultam em um consumo de N pela biomassa microbiana do solo, imobilizando-o na sua massa celular, podendo causar deficiência na cultura em desenvolvimento, caso não seja adicionado N mineral na semeadura.

Um aspecto importante na dinâmica e no balanço de nitrogênio no solo, é que o processo de **imobilização**, mesmo com drástica redução dos teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo, não representa perda irreversível para a cultura subsequente. Como a população microbiana não cresce indefinidamente, a partir do ponto em que o carbono facilmente oxidável desaparece e o sistema de decomposição tiver uma relação C/N menor que 25:1, começa a ocorrer a liberação de N para as plantas. À medida que a relação C/N se aproxima de 12/1, as transformações microbiológicas se tornam mais lentas até a quase completa paralisação, etapa em que o resíduo é considerado humificado ou estabilizado. Daí em diante, a relação C/N pouco se altera porque o carbono e o nitrogênio são mineralizados em proporções constantes, ou seja, em torno de 8 a 12 partes de C para cada parte de N (Caires, 2000). A matéria orgânica estável do solo apresenta uma relação C/N próxima de 10.

A influência do pH sobre a atividade dos microrganismos do solo que controlam os processos de amonificação, nitrificação, desnitrificação e fixação biológica é bastante conhecida. Os principais efeitos do pH sobre a mineralização da matéria orgânica podem ser resumidas em Freire et al., (2000):

a) A mineralização do nitrogênio orgânico ocorre em toda a faixa de pH do solo, porém, a taxa diminui gradativamente a valores de pH inferiores a 6,0-6,5;

b) A taxa de nitrificação é ótima na faixa de pH entre 6,6 e 8,0, e, reduz progressivamente com a diminuição do pH, atingindo valores insignificantes a pH menor que 4,5;

c) A faixa ideal de pH para desnitrificação é 7,0 a 7,5, atingindo valores bem menores a pH 5,0;

d) A perda de amônia por volatilização é altamente dependente do pH, aumentando a probabilidade de ocorrência acima de pH 7,0.

De acordo com Sá (1999), os efeitos das altas relações C/N tendem a ser mais expressivos nos primeiros anos de adoção do SPD e serão ainda maiores se o estágio de degradação do solo for elevado (perda do horizonte A, redução acentuada do teor de matéria orgânica em relação ao original e presença de camadas compactadas). Isso torna a demanda em N pela biomassa microbiana do solo e pelas culturas elevada, notadamente na fase inicial de crescimento, exigindo maiores doses de N para suprir as exigências nutricionais nessa fase. Com base em diversos experimentos, Sá (1996) observou que o aumento do teor de carbono em função do tempo de adoção do plantio direto proporciona maior liberação de N ao sistema (Figura 5). Nas condições desse estudo (região Centro-Sul do Paraná), a maior resposta à adubação nitrogenada para as gramíneas (milho e trigo) tem sido com o aumento da dose no sulco de semeadura, justamente para contornar a carência em N, na fase inicial do desenvolvimento das culturas, causada pelo efeito da imobilização do N mineral.

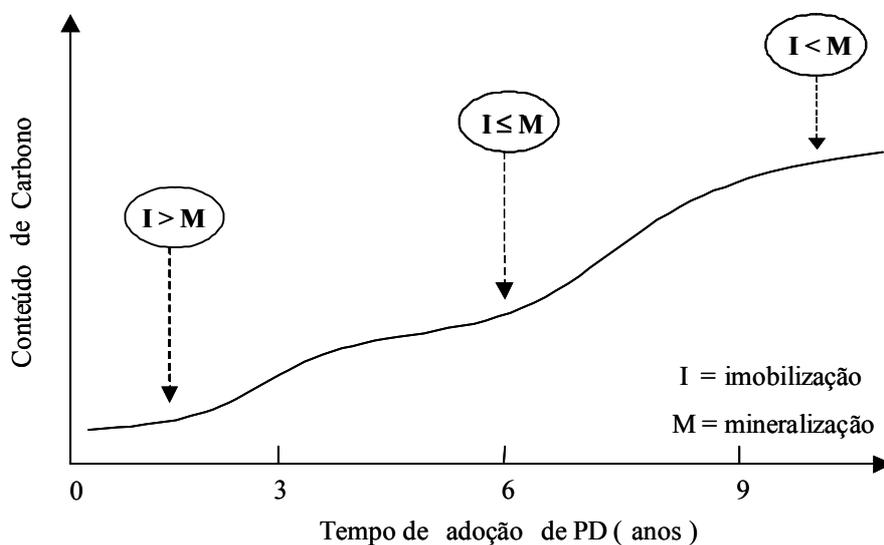


Figura 5. Influência do tempo de adoção do plantio direto no aumento do teor de carbono e nos processos bioquímicos da dinâmica de N no solo (imobilização-mineralização) na região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. Fonte: Sá (1999).

Em adição à complexidade do comportamento do nitrogênio no solo, está a falta de um método de análise de solo, adaptado às condições de rotina dos laboratórios, que indique a disponibilidade de nitrogênio para as plantas durante o ciclo, como existe para a maioria dos outros nutrientes.

A complexidade da dinâmica de nitrogênio no SPD e a importância econômica do manejo da adubação nitrogenada justificam uma discussão mais ampla envolvendo aspectos relacionados a doses de N, métodos de aplicação e tipos de rotação de culturas. Sá (1999) relata experimentos desenvolvidos durante 5 anos em 4 localidades na região dos Campos Gerais do Paraná avaliando duas rotações de cultura (Rotação 1: ervilhaca ou tremoço/**milho**/aveia-preta/soja/trigo/soja; Rotação 2: aveia-preta/**milho**/aveia-preta / soja/trigo/soja) e doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180, e 240 kg/ha). Nos tratamentos com nitrogênio, aplicaram-se 30 kg/ha no sulco de semeadura e o restante da dose em cobertura na 6ª folha, a lanço, usando uréia como fonte de N. Os principais resultados desse estudo foram os seguintes:

a) A contribuição média no rendimento de grãos de milho da sucessão com leguminosa nos tratamentos sem N foi superior à da sucessão aveia-preta/milho em 977 kg/ha no período de 5 anos, o que significa um ganho anual de 195 kg/ha (Figura 6).

b) A utilização de uma leguminosa, ao invés de aveia-preta, antecedendo o milho, proporcionou redução de 40 a 60% na dose de N. A dose de 120 kg/ha na sucessão aveia-preta/milho proporcionou o mesmo rendimento que a 60 kg/ha na sucessão leguminosa/milho.

c) Na rotação aveia-preta/milho, o N aplicado na semeadura apresentou maior eficiência em relação à aplicação em cobertura, no estágio de alongamento do milho (V6). A dose de 30 kg/ha na semeadura foi responsável por 42 a 88% de ganho

com a adubação nitrogenada. O retorno em quilograma de milho por quilograma de N aplicado na semeadura foi de 31 até 90 kg, enquanto a aplicação em cobertura proporcionou um ganho de até 30 kg.

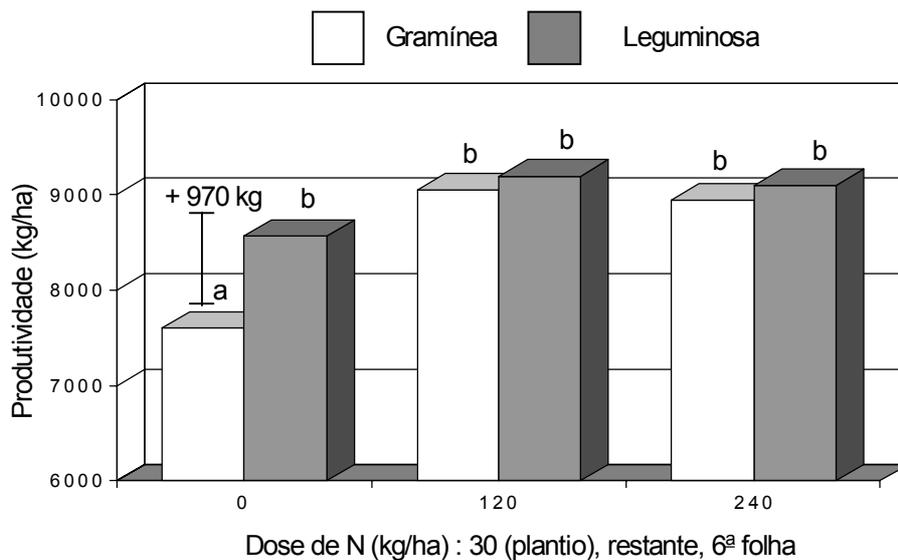


Figura 6. Efeito de doses de N no rendimento de grãos de milho em plantio direto após leguminosa (ervilhaca comum ou tremço-azul) e aveia-preta. Média de 5 anos em 4 locais Fonte: Sá (1999).

Na sucessão com aveia-preta, a hipótese apresentada por Sá (1993) para a expressiva resposta ao N aplicado no sulco de semeadura do milho, fundamenta-se na maior oferta de N mineral para a planta. Com isso reduz-se o efeito de competição durante a decomposição dos resíduos com elevada relação C/N pela biomassa microbiana do solo, imobilizando o N que estaria disponível para o milho (Figura 7). Em outras palavras, os 30 kg de N aplicados na semeadura compensaram o período inicial de imobilização de nitrogênio, que iria causar deficiência no estágio inicial do milho.

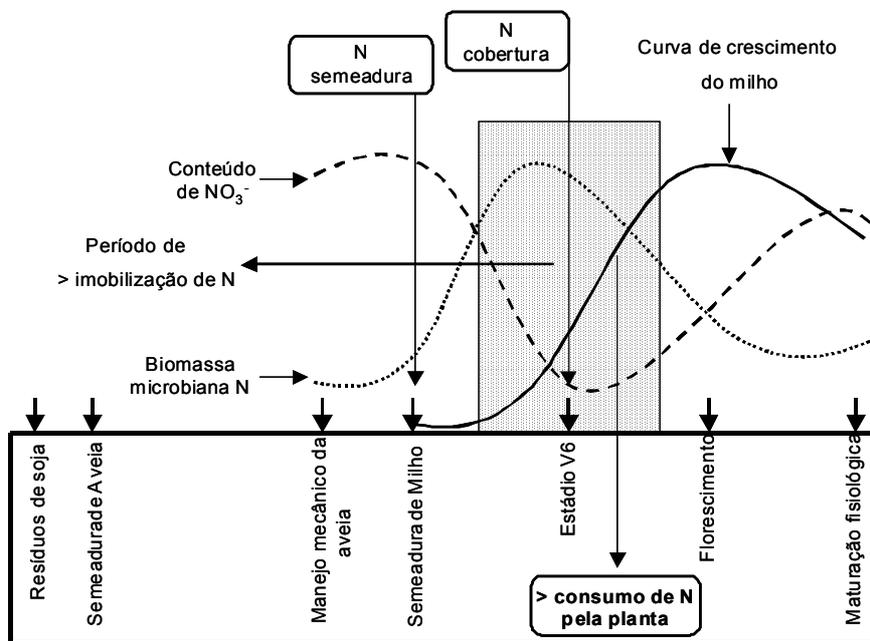


Figura 7. Representação das alterações no conteúdo de NO_3^- e da biomassa microbiana do solo durante o desenvolvimento da cultura do milho cultivada após aveia-preta no sistema plantio direto. Fonte: Sá (1999).

Em anos com boa distribuição de chuva durante o ciclo da aveia e no desenvolvimento inicial da cultura de milho, Sá (1999) observou maior liberação do N acumulado na cultura da aveia-preta, coincidindo com o estágio de florescimento; nesse caso, somente a adubação de N na sementeira foi suficiente para garantir 100% da produção relativa (Sá, 1996). Entretanto, em anos com distribuição irregular de chuva, poderia ocorrer maior retenção de N, sugerindo sua imobilização pela biomassa microbiana por um período mais longo, cujo pico de imobilização de N no solo coincidiria com o período de demanda maior da planta.

Esses resultados sugerem que, para uma região com distribuição de chuva irregular como a do Cerrado, a simples

aplicação do nitrogênio no plantio raramente será suficiente para atingir a produtividade máxima econômica.

2.4.1. Aplicação antecipada de nitrogênio

Uma série de experimentos usando a metodologia da diluição isotópica de ^{15}N , a partir da década de 1980, no Brasil, permitiu um melhor entendimento da dinâmica do nitrogênio em solos tropicais e o destino de N-fertilizante aplicado às culturas (Libardi et al., 1981; Reichardt et al., 1982; Urquiaga, 1982; Coelho et al., 1991; França et al., 1994). Os resultados dessas pesquisas mostraram que (Coelho et al., 2002):

a) o N-fertilizante recuperado pelas culturas variou de 53 a 64%, com a média de 56%, com aplicação de 60 a 100 kg de N/ha;

b) a maior parte do N-fertilizante medido no solo após a colheita estava na camada superficial do solo (0-30 cm);

c) não houve indicação de movimentação de N-NO_3^- no perfil do solo;

d) das perdas por lixiviação de 10 a 20 kg de N/ha, apenas 20% eram derivadas do fertilizante;

e) do N-fertilizante encontrado na camada superficial do solo, após a colheita, 70 a 90% estavam na forma orgânica, contribuindo para redução das perdas por lixiviação;

f) em média, 85% do N-fertilizante aplicado foram recuperados no sistema solo-planta.

Verificou-se também que em solos sob cerrado, o processo de nitrificação não é rápido, prolongando a permanência do N na forma amoniacal, o que contribui para a redução das

perdas por lixiviação de nitrato (Mello Jr. et al., 1994; Coelho et al., 2002).

Levando-se em conta esses fatos e a expansão em larga escala do SPD no Brasil, o qual atingiu cerca de 20 milhões de hectares em 2002 (sendo 40% dessa área localizada nos cerrados), e ainda, os aspectos associados à rotação (principalmente de milho e soja) e sucessão de culturas, constata-se a necessidade de ajuste e/ou, de desenvolvimento de estratégias de manejo de nitrogênio diferentes daquelas preconizadas para o SPC.

Em função dos dados acima referidos, surgiu a necessidade de se pesquisar a possibilidade de antecipar a aplicação de todo ou parte do nitrogênio que seria aplicado na cultura de interesse. A alternativa de se aplicar todo o N a lanço ou em sulcos, na pré-semeadura, tem despertado interesse porque apresenta algumas vantagens operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da semeadura, e a racionalização do uso de máquinas e mão-de-obra (Coelho, 2002).

Vários trabalhos de pesquisa nos últimos anos têm focado esse aspecto, mas a complexidade na dinâmica de nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, tem mostrado que os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa generalizar a recomendação dessa prática (Coelho, 2002).

Um exemplo de estudo com esse objetivo, envolvendo a rotação aveia-preta antecedendo o milho em 3 locais no Paraná, utilizando doses de 0, 30 e 60 kg/ha de N e várias épocas de aplicação é mostrado na Tabela 19 (Sá, 1996).

Tabela 19. Efeito da aplicação de nitrogênio na cultura da aveia-preta e no milho, no rendimento de milho, em três locais na região centro-sul do Paraná. Fonte: Adaptado de Sá (1996).

N no Milho	N na aveia preta (kg/ha)			Média de N no milho
	0	30	60	
----- kg/ha -----				
Carambeí				
Testemunha sem N	6.101	7.156	7.533	6.930 a
30 kg na semeadura + 90 kg em cobertura ⁽¹⁾	8.893	9.310	9.477	9.227 d
90 kg no manejo ⁽²⁾ + 30 kg na semeadura	8.930	9.599	9.748	9.426 d
30 kg na semeadura	7.181	7.934	8.327	7.814 b
90 kg em cobertura	8.003	8.798	9.112	8.367 c
Média de N na aveia preta	7.822 a	8.559 b	8.839 b	
Tibagi				
Testemunha sem N	5.227	6.261	-	5.744 a
30 kg na semeadura + 90 kg em cobertura ⁽¹⁾	7.122	7.737	-	7.429 bc
90 kg no manejo ⁽²⁾ + 30 kg na semeadura	7.777	8.142	-	7.959 c
30 kg na semeadura	6.632	7.192	-	6.912 b
90 kg em cobertura	6.250	7.117	-	6.683 b
Média de N na aveia preta	6.602 a	7.290 b	-	
Castro				
Testemunha sem N	4.356	4.918	-	4.637 a
30 kg na semeadura + 90 kg em cobertura ⁽¹⁾	7.625	7.742	-	7.683 c
90 kg no manejo ⁽²⁾ + 30 kg na semeadura	7.869	7.397	-	7.633 c
30 kg na semeadura	5.627	5.462	-	5.544 b
90 kg em cobertura	7.954	7.681	-	7.817 c
Média de N na aveia preta	6.686 a	6.640 a	-	

Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. ⁽¹⁾ Adubação em cobertura no estágio da 6ª folha.

⁽²⁾ Adubação no estágio de grão leitoso da aveia, antes da operação com o rolo-faca.

A aplicação de 30 kg/ha de N na aveia proporcionou o mesmo rendimento de milho que a aplicação na semeadura do milho. Isso indica que o N dos resíduos de aveia-preta apresentou rápida ciclagem no solo, tornando-se disponível para a planta. O tratamento com a aplicação de todo o N até a semeadura (90 kg/ha no manejo mecânico da aveia-preta + 30 kg/ha na semeadura do milho) promoveu resultado estatisticamente semelhante ao tratamento com parcelamento (30 kg/ha na semeadura + 90 kg/ha em cobertura), indicando um fluxo de N mais estável no solo e com picos de imobilização mais baixos. Presume-se que a aplicação de N no manejo da aveia-preta aumentaria a oferta de N mineral no solo, e este seria utilizado pela biomassa microbiana. Nesse caso, a hipótese seria a ocorrência de uma mineralização contínua de N no solo, em taxa proporcional à demanda do milho (Sá, 1999). A Figura 8 ilustra a estratégia de aplicação antecipada de N na cultura de milho após a aveia-preta. Observa-se que a curva de depleção de nitrato, nesse caso, seria menos acentuada do que a observada na Figura 7, quando parte do N foi aplicado na semeadura do milho e o restante em cobertura, no estágio de 6ª folha.

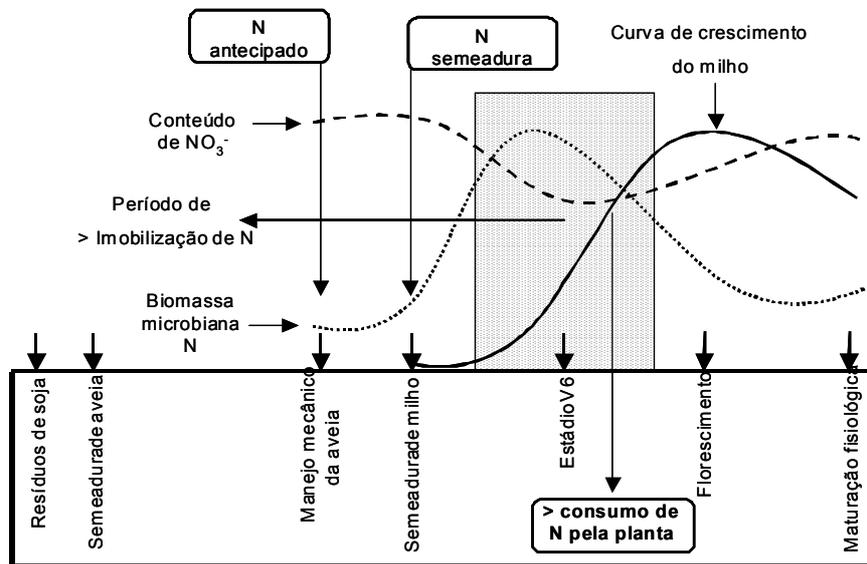


Figura 8. Representação hipotética do efeito da aplicação de N em pré-semeadura do milho e alterações no conteúdo de NO_3^- e da biomassa microbiana do solo, no sistema plantio direto. Fonte: Sá (1999).

Alguns comentários adicionais merecem ser feitos em relação aos dados apresentados na Tabela 19. Mesmo nos tratamentos sem N (tanto na aveia-preta como no milho), as produções de 6.100 kg/ha em Carambeí, 5.227 kg/ha em Tibagi e 4.356 kg/ha em Castro, são relativamente altas, o que não se espera em muitas regiões produtoras de milho no Brasil, onde as parcelas testemunhas, sem N, alcançam produções muito baixas.

A importância do tema envolvendo a antecipação de pelo menos parte da adubação nitrogenada do milho para a cultura antecedente justifica uma análise mais detalhada do mesmo. Entretanto, são relativamente raros no Brasil, experimentos de longa duração, com dados de produção de três ou mais anos, envolvendo épocas e modos de aplicação de nitrogênio no SPD, que trazem informações adicionais importantes relativas a regime pluviométrico, textura do solo e teores iniciais de nitrogênio mineral do solo, as quais são fundamentais para se explicar a razão das diferentes respostas do milho em rendimento de grãos.

Produtividades de milho, em SPD, com antecipação de pelo menos parte da adubação nitrogenada, para a cultura de cobertura antecedente (aveia-preta, aveia-preta + ervilhaca ou nabo forrageiro), em anos de precipitação normal, foram comparáveis com aquelas do sistema tradicional (parte na semeadura e parte em cobertura), em Santa Maria, RS, em 1996/1997 e 1998/1999 (Figura 9, Basso e Ceretta, 2000, e Tabela 20), e em quatro (1998/1999, 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002) de cinco anos, com a cultura do milho cultivado sobre resteva de aveia-preta, em Passo Fundo, RS (Tabela 21, Pöttker e Wiethölter, 2002). Nesse anos, segundo Pöttker e Wiethölter (2002) e Ceretta et al., (2002), não houve redução de rendimento do milho em decorrência da aplicação antecipada de N, talvez devido ao estoque desse nutriente nesses solos, há anos sob plantio direto, ser maior, o que resultou em maiores rendimentos quando a aplicação desse nutriente foi realizada antes do período de demanda máxima de N. Entretanto, na safra 1997/1998, as melhores épocas de aplicação de N, em

ambos os experimentos, foram com o tratamento que envolveu o sistema tradicional de aplicação, ou seja, na base (25 a 30%) e em cobertura (70 a 75%), (Figura 9 e Tabela 21). Nesse ano ocorreram elevadas precipitações pluviais em Santa Maria e em Passo Fundo (550 mm em outubro e 350 mm em novembro), fazendo com que, no experimento em Santa Maria, a quantidade do nitrogênio absorvido pela cultura do milho no tratamento 90-30-00 fosse cerca de 2,5 vezes menor que no tratamento 00-30-90, o que certamente refletiu-se nas diferenças de produtividade obtidas. Chama ainda atenção o fato de que, nesse último experimento, no ano agrícola de 1997/98, o teor de N mineral do solo ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) avaliado imediatamente antes da semeadura do milho em sucessão à aveia-preta na camada de 0 a 5 cm, no tratamento 90-30-00, foi cerca de 10 vezes menor do que o mesmo tratamento no ano de 1996/1997.

Tabela 20. Rendimento de grãos de milho em função de épocas de aplicação de N no sistema plantio direto, UFSM, Santa Maria, RS. Fonte: Basso et al. (1998).

Época de aplicação			Safrá	
Pré-semeadura ⁽¹⁾	Semeadura	Cobertura	1996/1997	1997/1998 ⁽²⁾
----- N (kg/ha) -----			----- grãos (kg/ha) -----	
0	0	0	5.616 d	2.812 e
0	30	90	6.804 c	5.786 a
30	30	60	6.867 bc	5.174 b
60	30	30	7.756 a	4.322 c
90	30	0	7.230 ab	3.647 d

⁽¹⁾ Alguns dias após a dessecação da aveia preta. ⁽²⁾ Excesso de precipitação pluvial em outubro e novembro de 1997.

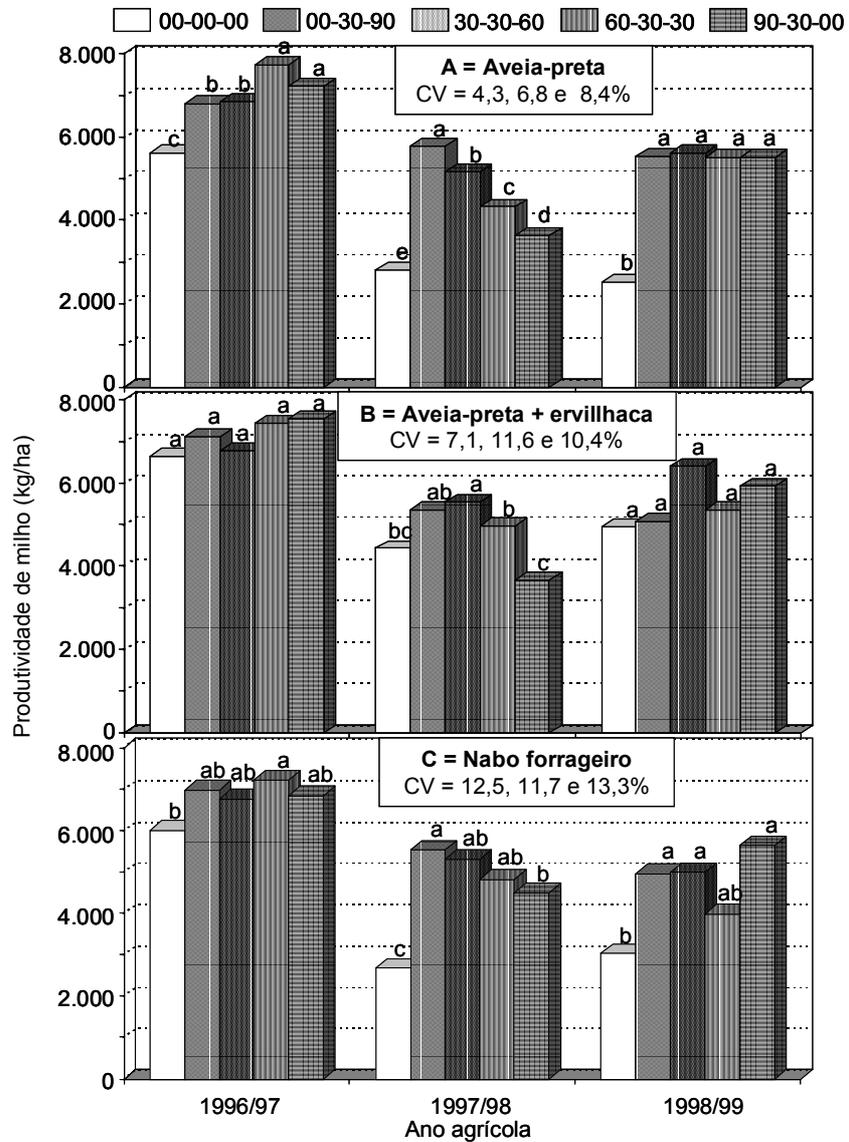


Figura 9. Produtividade de grãos de milho em sucessão com coberturas de inverno (A = aveia-preta; B = aveia-preta + ervilhaca; C = nabo forrageiro) com diferentes manejos da adubação nitrogenada (120 kg N/ha). Números na legenda representam doses de N (kg/ha) em pré-semeadura (27 a 13 dias antes da semeadura), plantio e cobertura (4 a 6 folhas desenroladas). Colunas com a mesma letra, em cada ano, não diferem pelo teste de Duncan a 5%. A ordem dos coeficientes de variação (CV) segue a ordem crescente dos anos agrícolas. Fonte: Adaptado de Basso e Ceretta (2000).

Tabela 21. Efeito de época e do modo de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos de milho cultivado sobre resíduos de aveia-preta. Fonte: Pöttker e Wietthölter (2002).

PRE ⁽¹⁾	N (kg/ha) -----										Média
	PLA	COB	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	kg/ha -----			
1) 100 La ⁽²⁾	0	0	6.404 ⁽⁵⁾ bc	8.604 a	7.320 ab	9.078 c	6.502 c				7.582
2) 100 Li ⁽²⁾	0	0	6.897 b	9.148 a	7.383 ab	9.937 ab	6.940 abc				8.061
3) 70 La	30 Li	0	6.170 c	9.087 a	7.464 a	9.128 c	7.105 ab				7.791
4) 70 Li	30 Li	0	6.653 bc	9.313 a	7.708 a	10.240 a	7.306 a				8.244
5) 30 La	70 La	0	-	-	6.742 b	9.270 bc	6.573 bc				7.528
6) 30 La	70 Li	0	-	-	-	9.580 abc	6.993 abc				8.286
7) 30 La	0	70 La	-	-	7.316 ab	9.253 bcd	6.954 abc				7.841
8) 0	30 Li	70 La	8.128 a	8.880 a	7.872 a	9.619 abc	6.692 bc				8.238
9) 0	30 Li	70 Li	8.534 a	9.133 a	7.192 ab	9.972 ab	6.974 abc				8.361
10) 0	100 La	0	6.538 bc	9.106 a	-	8.914 c	6.775 abc				7.833
11) 100 La ⁽³⁾	0	0	-	-	7.407 ab	-	-				7.407
12) 0	0	0	-	6.556 b	4.736 c	6.417 d	5.843 d				5.888
13) 0	70 Li + 30 Li ⁽⁴⁾	0	6.354 bc	9.260 a	7.398 ab	-	-				7.671
14) 30 La	30 Li	40 La	-	-	7.296 ab	9.997 a	7.201 a				8.165
Média geral anual			6.960	8.787	7.153	9.284	6.822				
CV %			6,8	6,4	6,9	5,4	5,3				

⁽¹⁾PRE = N aplicado em pré-plantio, cerca de 10 dias após a dessecação da aveia-preta; PLA = N aplicado no plantio e COB = N aplicado em cobertura. ⁽²⁾La = N aplicado a lanço e Li = N aplicado em linhas (incorporado). ⁽³⁾Aplicação de N feita 20 dias antes da dessecação da aveia preta. ⁽⁴⁾Aplicação de 70 kg de N nas entrelinhas e 30 kg nas linhas de plantio. ⁽⁵⁾Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Duncan (P = 0,05).

Um resumo de uma série de outros trabalhos relativamente recentes envolvendo a antecipação da adubação nitrogenada do milho para a cultura precedente e/ou toda a aplicação na semeadura do milho, em comparação com o sistema tradicional (parte na semeadura e parte em cobertura) é mostrado na Tabela 22. Desses 9 experimentos, conduzidos em vários Estados, 6 mostram que aumentos significativos na produtividade do milho foram obtidas nos tratamentos que envolveram a aplicação de nitrogênio seguindo o método convencional, ou seja, aplicação de parte na semeadura e parte em cobertura no estágio de 4 a 6 folhas. Mesmo nos experimentos em que a antecipação de parte da adubação nitrogenada do milho para a cultura precedente atingiram boas produtividades, essas foram, na totalidade dos casos, estatisticamente equivalentes com aquelas obtidas pelo sistema convencional.

Um fator adicional na questão da antecipação da adubação nitrogenada no SPD é o efeito da cultura precedente poder ser determinante do potencial de rendimento da cultura seguinte. Os dados apresentados nas Tabelas 23 e 24 relatam resultados de experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul onde o N aplicado no trigo apresentou efeito residual no rendimento de milho em ambos os anos (Wiethölter, 2002b). O rendimento médio de milho foi 578 kg/ha superior na seqüência soja 97/98 – trigo 98 – milho 98/99 do que na seqüência milho 97/98 – trigo 98 – milho 98/99, indicando a efetiva contribuição da soja no sistema de cultivo (Tabela 23). Na safra 1999/2000 foram alternadas as culturas de soja e de milho (Tabela 24), verificando-se que a soja não demonstrou efeito residual do N aplicado em trigo (como era esperado), sendo o rendimento médio igual a 4.248 kg/ha. Em termos gerais, o N aplicado na cultura do trigo após soja proporcionou rendimentos médios altos de milho (5.667 kg/ha, Tabela 23 e 5.087 kg/ha, Tabela 24), considerando-se que não foi aplicado N na cultura do milho.

Tabela 22. Resumo de experimentos envolvendo comparações de manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho (antecipação para a cultura precedente, e/ou, na semeadura, e/ou, em cobertura).

Locais	Doses de N - kg/ha (total e parcelas) ⁽¹⁾	Produção de grãos (kg/ha)			Autores
		Antecipa- da e/ou, semeadura	Semea- dura e/ou, cobertura	Teste- munha	
Ribeirão Preto, SP (argiloso)	120 (A80) (S40)	8.050 a	---	---	Lera et al. (2000)
	120 (S40) (C80)	---	7.524 a	---	
Santa Maria, RS (arênico)	90 (A60) (S30)	5.051 bc	---	3.218 e	Herbes et al. (2000)
	90 (S30) (C60)	---	6.320 ab		
Selvíria, MS (argiloso)	120 (S120)	5.552 b	---	3.444 c	Silva e Buzetti, 2000
	120 (S60) (C60)	---	7.090 a		
Arapoti, PR (Arenoso)	120 (A80) (S40)	5.944 ab	---	4.346 b	Tessaro et al. (2000)
	120 (S40) (C80)	---	5.660 ab		
Selvíria, MS (argiloso)	120 (S120)	2.106 b	---	---	Kuramoto et al. 2000)
	120 (S10) (C110)	---	7443 a		
Santa Maria, RS (arênico)	90 (A 60) (S30)	3.552 d	---	3.112 e	Ceretta et al. (2002)
	90 (S30) (C60)	---	6.268 abc		
Selvíria, MS (argiloso)	100 (S100)	7.719 a	---	5.814 b	Fernandes et al. (2000)
	100 (S40) (C60)	---	7.600 a		
Lajes, SC (2000/01) (argiloso)	100 (S100)	9.537 c	---	7.483 d	Sangoi et al. (2002)
	100 (S40) (C60)	---	11.205 ab		
Lajes, SC (2001/02) (argiloso)	100 (S100)	8.559 b	---	6.042 c	Sangoi et al. (2002)
	100 (S40) (C60)	---	8.815 ab		

⁽¹⁾ Nas colunas as letras A, S e C representam, respectivamente, doses de N aplicadas de forma antecipada (na cultura antecedente ao milho), na semeadura e em cobertura no milho.

Tabela 23. Efeito de N aplicado na cultura do trigo no rendimento de grãos de trigo e de milho (residual) em solo sob plantio direto. Fonte: Wiethölter (2002b)

	Seqüência de culturas										
	Trigo 1998			Base em Trigo,			Milho 1998/99			Média	
	0	40	80	0	40	80	0	40	80		120
	Cobertura em trigo, N (kg/ha)			Cobertura em trigo, N (kg/ha)			Cobertura em trigo, N (kg/ha)				
	trigo (kg/ha)			trigo (kg/ha)			milho (kg/ha)				
Soja ⁽¹⁾	2.438	3.174	3.210	3.047	2.967a	0	4.731	5.244	5.413	5.488	5.219a
97/98	2.911	3.439	3.143	2.811	3.076a	40	5.392	5.904	6.712	6.373	6.096a
	2.674C	3.306A	3.176AB	2.929BC	3.021	Média	5.062B	5.574AB	6.063A	5.930A	5.667
	CV = 8,8 %						CV = 10,1 %				
	trigo (kg/ha)			trigo (kg/ha)			milho (kg/ha)				
	1.634	2.231	2.472	2.591	2.232a	0	4.503	4.730	5.668	5.323	5.056a
Milho ⁽¹⁾	2.190	2.683	3.067	2.839	2.695a	40	4.688	4.938	5.270	5.515	5.103a
97/98	1.912C	2.457B	2.769A	2.715A	2.463	Média	4.595B	4.834AB	5.469A	5.419A	5.079
	CV = 9,6 %						CV = 14,7 %				

⁽¹⁾ Cultivado em áreas contíguas.

Tabela 24. Efeito de N aplicado na cultura do trigo no rendimento de grãos de trigo, e de milho e soja (residual) em solo sob plantio direto. Fonte: Wiethölter (2002b).

		Seqüência de culturas												
Base em		Trigo 1999 ⁽¹⁾				Base em				Milho 1999/2000				
trigo, kg		Cobertura em trigo, N (kg/ha)				trigo, kg				Cobertura em trigo, N (kg/ha)				
N/ha		0	40	80	120	160	Média	0	40	80	120	160	Média	
		----- trigo (kg/ha) -----												
Soja ⁽²⁾	0	1.672	2.568	3.290	3.456	3.752	2.948b	0	3.936	4.444	4.528	5.217	5.822	4.789a
	40	2.532	3.069	3.326	3.381	3.798	3.221a	40	3.936	4.064	5.445	5.523	6.229	5.039a
	80	2.746	3.232	3.313	3.394	3.590	3.255a	80	3.899	4.457	5.600	6.290	7.226	5.434a
	Média	2.316D	2.956C	3.310B	3.410D	3.714A	3.141	Média	3.924C	4.222C	5.191B	5.677B	6.426A	5.087
		CV = 7,3 %												
		----- trigo (kg/ha) -----												
		----- soja (kg/ha) -----												
		Soja 1999/2000												
Milho ⁽²⁾	0	1.140	2.120	2.581	3.327	3.717	2.577b	0	4.312	4.368	4.238	4.151	4.298	4.273a
	40	1.938	2.898	3.223	3.704	3.988	3.150a	40	4.443	4.310	4.154	4.044	4.124	4.215a
	80	2.711	2.922	3.457	3.720	3.514	3.265a	80	4.270	4.316	4.374	3.960	4.364	4.257a
	Média	1.930D	2.647C	3.087B	3.584A	3.740A	2.997	Média	4.342A	4.331A	4.255AB	4.052B	4.262AB	4.248
		CV = 8,3 %												

⁽¹⁾ Precipitação de 19 mm em agosto. ⁽²⁾ Cultivado em áreas contíguas

Os dados da Tabela 25 indicam que a soja contribuiu, em média, com 359 kg de grãos de trigo/ha e, dependendo da dose de N usada, o benefício da soja pode variar de cerca de 400 a 1.100 kg/ha, tendo a vantagem máxima sido observada na safra de rendimento médio mais elevado (Wiethölter, 2000a).

Com base em 32 experimentos, foram gerados modelos empíricos relacionando o rendimento de grãos de trigo em função dos seguintes fatores: dose de N, teor de matéria orgânica do solo e cultura precedente. O resultado desses modelos permitiram estabelecer recomendações técnicas de doses máximas de N a aplicar na cultura do trigo após soja ou milho. (Tabela 26, Wiethölter, 1999b).

Tabela 25. Rendimento de trigo em função da cultura precedente. Embrapa Trigo, 1993 a 1999. Fonte: Wiethölter (2002b).

Ano	Cultura precedente		Diferença ⁽¹⁾	
	Soja	Milho	Média	Tratamento específico
	----- grãos (kg/ha) -----			
1993	3.039	2.774	295	432 ⁽²⁾
1994	2.632	2.320	312	386 ⁽³⁾
1995	3.418	2.995	423	639 ⁽²⁾
1996	4.591	4.172	419	1.135 ⁽²⁾
1997 ⁽⁴⁾	1.998	1.062	936	919 ⁽²⁾
1998	3.021	2.463	558	943 ⁽²⁾
1999	3.141	2.997	144	448 ⁽²⁾
Média ⁽⁵⁾	3.307	2.948	359	664

⁽¹⁾Soja menos milho. ⁽²⁾40 kg N/ha em cobertura. ⁽³⁾40 kg N/ha em cobertura.

⁽⁴⁾Excesso de precipitação em outubro. ⁽⁵⁾Excluindo o ano de 1997.

Tabela 26. Dose máxima de N a aplicar na cultura de trigo, no sistema plantio direto. Fonte: Wiethölter (2002c).

Teor de matéria orgânica do solo	Cultura precedente	
	Soja	Milho
%	----- N (kg/ha) -----	
≤ 2,5	80	100
2,6 – 3,5	60	80
3,6 – 4,5	40	60
4,6-5,5	40	40
> 5,5	<40	<40

Em síntese, os dados apresentados até agora, neste tópico, com predominância de pesquisas desenvolvidas na região Sul do Brasil, indicam que não é possível generalizar, substituindo, indiscriminadamente, a tradicional aplicação de fertilizantes nitrogenados (semeadura + cobertura) na cultura do milho em sucessão, pela aplicação de parte desse nitrogênio para a cultura antecedente e parte apenas na semeadura do milho, sem a realização da adubação de cobertura no período tradicional. Esses resultados de pesquisa mostram, ainda, que existe razoável probabilidade de sucesso da antecipação da adubação nitrogenada em milho para a cultura antecedente nas situações seguintes: a) áreas com vários anos de adoção do SPD e que já apresentam considerável aporte de matéria orgânica em função da rotação e seqüência de culturas adotadas; b) áreas que, em decorrência dos vários anos de plantio direto, apresentem uma considerável liberação de N no período de demanda máxima de N pelo milho; c) em anos que as chuvas de primavera ocorrem numa intensidade normal; e d) em solos de textura média ou argilosa.

Segundo Wiethölter (2000c), a possibilidade de aplicação antecipada de nitrogênio no milho, nessa situação, depende essencialmente da ocorrência de chuvas na primavera. Se houver chuva em excesso, a lixiviação de N poderá ocorrer em quantidades suficientes para promover deficiência temporária de N, e a aplicação de N mais próximo do período de maior demanda (a partir de 4 a 6 folhas) será melhor. Além disso, uma série de outras variáveis, com destaque para tempo de adoção do SPD, teor de matéria orgânica do solo, conhecimento da disponibilidade de N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) no solo, no período que precede o plantio do milho, tipo de culturas em rotação e/ou, sucessão, textura do solo e quantidade de resteva presente tornam a dinâmica de nitrogênio no solo extremamente difícil de prever. Por isso alguns autores concluíram que, em solos com textura franco-arenosa no horizonte superficial (Basso e Ceretta, 2000; Coelho et al., 2002), e mesmo em alguns casos de solos argilosos (Sangoi et al., 2002), a aplicação de N em pré-semeadura do milho é uma prática de risco, sendo mais segura a aplicação de N na semeadura e em cobertura.

Para a região do Cerrado, onde ocorre uma grande expansão no uso do SPD, alterações no manejo da adubação nitrogenada do milho (semeadura + cobertura) para pré-semeadura + semeadura devem ser consideradas com reservas, pois as condições ideais para essa prática em geral inexistem. Em adição, há poucos trabalhos de pesquisa de longa duração envolvendo esse tema nessa região.

2.4.2. Perdas de N por volatilização

Outro aspecto de grande importância no manejo da adubação nitrogenada no SPD trata da necessidade de adoção de tecnologias de aplicação de N que minimizem as possíveis perdas por volatilização, principalmente quando é usada uréia em cobertura sobre a palha sem incorporação. Os dados apresentados na Figura 10 são um resumo de resultados obtidos por Cabezas et al. (1997), quando da avaliação de perdas de N-NH₃ por volatilização pela aplicação superficial ou incorporação de várias fontes de nitrogênio em cobertura, na dose de 100 kg de N/ha. As perdas, no caso de uréia, chegaram a quase 80% com a aplicação superficial no plantio direto e 30% no plantio convencional, quando é usado no cálculo um fator de correção da eficiência do coletor de amônia. Incorporação a 5-7 cm de profundidade reduziu drasticamente essas perdas. Porém, a despeito das quantidades de NH₃ volatilizado terem sido elevadas, o rendimento foi pouco afetado, indicando que esse parâmetro por si só não pode ser utilizado como um indicativo da eficiência da adubação nitrogenada e do seu consequente efeito sobre a produção das culturas no campo.

Já na cultura do trigo em área com resteva de milho, as perdas médias de N-NH₃ com uréia não têm sido superiores a 5% da dose aplicada, quando a eficiência do coletor de amônia não é considerada nos cálculos (Wiethölter, observação pessoal).

Ainda com relação às perdas de N-NH₃, é importante considerar que fatores ambientais são determinantes. Assim, se a uréia é aplicada precedendo uma chuva ou irrigação, a perda de N pela volatilização de NH₃ é praticamente nula.

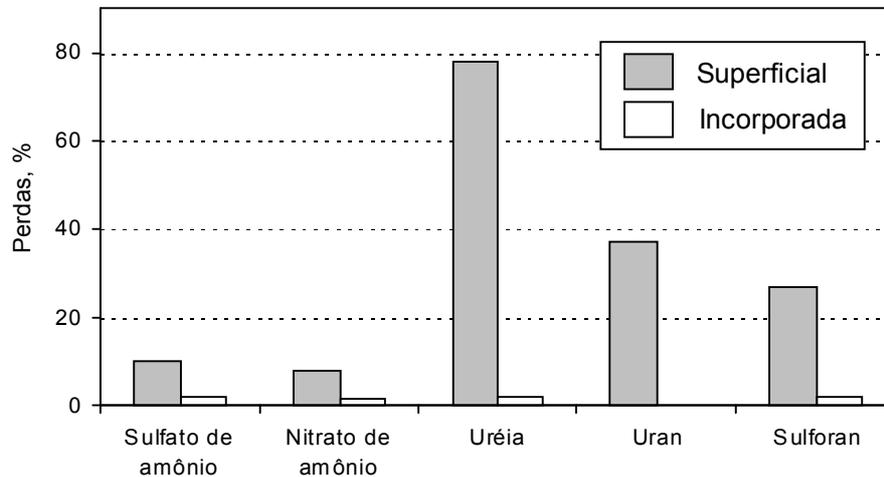


Figura 10. Perdas acumuladas de $N-NH_3$ volatilizado provenientes da aplicação superficial e incorporada de cinco fontes nitrogenadas à cobertura de milho em SPD. Fonte: Adaptado de Cabezas et al. (1997).

3. Antes de entrar no sistema plantio direto

Embora existam exemplos de relativo sucesso na implementação do SPD sem a adoção prévia de práticas de construção da fertilidade do solo, principalmente em áreas de pastagens naturais, o risco de insucesso é diminuído com uma adequada e prévia correção de deficiências relacionadas à fertilidade natural do solo. Nesse contexto, os princípios amplamente conhecidos envolvendo calagem, utilização de gesso agrícola na região do Cerrado, adubação fosfatada corretiva, adubação potássica corretiva e adubação corretiva com micronutrientes são necessários nessa fase que precede a implantação do SPD. Porém, estas práticas devem sempre ser realizadas com base em análise do solo. Detalhes sobre essas práticas de construção da fertilidade do solo, aplicáveis à região do Cerrado, são encontrados em Lopes e Guilherme (1994) e Sousa e Lobato (2002).

Cabem, neste ponto, alguns comentários práticos envolvendo a melhor preparação possível da área a ser submetida ao SPD. O objetivo dessas práticas é corrigir a acidez da camada superficial do solo (0-20

cm), melhorar as condições do subsolo para permitir um aprofundamento do sistema radicular, elevar os níveis de fertilidade do solo a pelos menos um valor médio de P, K, S e micronutrientes.

3.1. Calagem

Antes de iniciar o SPD é recomendável corrigir a acidez do solo através da prática da calagem, incorporando o calcário.

As doses de calcário devem ser calculadas tendo em vista a profundidade de incorporação na camada de 0 a 20 cm, através de aração e gradagem, com a quantidade de calcário corrigida para PRNT de 100% e para atingir uma saturação por bases ao redor de 60% ou seja, a última calagem antes de entrar no SPD deve ser idêntica à adotada no SPC. Isso é importante porque os efeitos do aumento progressivo da matéria orgânica com a implantação do SPD são muito lentos no que diz respeito a redução da toxidez de alumínio, como explicado anteriormente.

Outro aspecto relevante a ser levado em conta nessa fase é o tipo de calcário a ser utilizado. Como essa é a última oportunidade para a incorporação profunda de calcário, é importante usar um produto que apresente maior efeito residual uma vez que, por princípio, o solo sob SPD não será mais revolvido. Sob esse aspecto é importante conhecer não apenas o PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) do calcário, mas, também, o seu poder de neutralização (PN) e a reatividade (RE). Em geral, quanto maior a RE menor o efeito residual do calcário, isto é, quanto mais rápida a ação do corretivo, menor é a duração do efeito da calagem e vice-versa. Assim, como exemplo, para três calcários com PRNT de 70% mas com RE de 60, 80 e 100%, deve-se dar preferência ao de RE de 60% pois, embora todos os três calcários devam reagir 70% no período de 3 meses, o calcário com RE de 60% apresenta ainda 40% de efeito residual para períodos mais longos.

Evidências da relação inversa entre grau de moagem de partículas de calcário e efeito residual das reações foram obtidas em

experimentos de campo conduzidos durante três anos com a cultura da soja (Natale e Coutinho, 1994). Os dados resumidos na Tabela 27 indicam que partículas menores que 0,3 mm apresentaram reação completa em 3 meses. Partículas maiores que 2 mm apresentaram menos de 2% de eficiência em 30 meses, indicando que, acima desse tamanho, praticamente não ocorre dissolução do calcário no solo. Partículas entre 0,6 e 2 mm e entre 0,3 e 0,6 mm foram aumentando o índice médio de eficiência equivalente ao longo do tempo, atingindo, respectivamente, 47% e 121% em 30 meses. Mais detalhes sobre esse assunto são encontrados em Alcarde (1992).

Tabela 27. Índice médio de eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário em relação à fração menor que 0,3 mm, avaliado a campo, durante 3 anos, com a cultura da soja. Fonte: Adaptado de Natale e Coutinho (1994).

Frações	Eficiência equivalente em relação à fração menor que 0,3 mm			
	4 meses	9 meses	18 meses	30 meses
F ₁ (4,0-2,0 mm)	< 1	< 1	< 1	< 2
F ₂ (2,0-0,6 mm)	6	8	17	47
F ₃ (0,6-0,3 mm)	36	51	68	121
F ₄ (< 0,3mm)	100	100	100	100

Os métodos mais utilizados para se determinar a necessidade de calagem (NC) em sistemas de culturas anuais de sequeiro e irrigadas são: a) os que se baseiam nos teores de Al, Ca e Mg trocáveis (que variam em função do teor de argila dos solos), b) o que utiliza a saturação por bases do solo (Sousa e Lobato, 2002).

a) Método do Al, Ca e Mg trocáveis

a1) Solos com capacidade de troca de cátions (CTC a pH 7,0 ou valor T) maior que 4,0 cmol_c/dm³, teor de argila acima de 15% e teor de Ca+Mg menor que 2,0 cmol_c/dm³:

$$NC \text{ (t/ha)} = (2 \times Al) + 2 - (Ca + Mg)$$

onde os teores de Al, Ca e Mg são expressos em cmol_c/dm³.

a2) Solos com capacidade de troca de cátions (CTC a pH 7,0 ou valor T) maior que $4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, teor de argila acima de 15% e teor de Ca+Mg maior que $2,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$:

$$\text{NC (t/ha)} = 2 \times \text{Al}$$

a3) Solos com menos de 15% de argila

$$\text{NC (t/ha)} = 2 \times \text{Al}$$

ou

$$\text{NC (t/ha)} = 2 - (\text{Ca} + \text{Mg}),$$

utilizando-se o maior valor encontrado de uma dessas fórmulas.

Para corrigir a necessidade de calcário para PRNT 100%, multiplica-se o valor calculado pelo fator: $f = 100/\text{PRNT}$.

O método do Al, Ca e Mg eleva a saturação por bases do solo para valores médios de 50%. Com base nesse critério, há tendência de se recomendar mais calcário que o necessário para solos arenosos com baixa CTC (menor que $4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e menos que o necessário para solos com CTC alta (maior que $12,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Entretanto, essa limitação não é muito relevante no Cerrado, já que a maioria dos solos desta região apresenta CTC entre 4,0 e $12,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (Sousa e Lobato, 2002).

b) Método da saturação por bases

$$\text{NC (t/ha)} = T (V_2 - V_1) / \text{PRNT}$$

em que: $T = H + \text{Al} + \text{SB}$ em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo H + Al calculado com base no pH SMP

$V_2 =$ Saturação por bases que se deseja

$V_1 = \text{SB}/T \times 100 =$ Saturação por bases atual

$\text{SB} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

$\text{PRNT} =$ Poder Relativo de Neutralização Total do calcário (%).

c) Método SMP

Este método é empregado nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Ele é baseado na leitura do pH da solução SMP tamponada a pH 7,5. A NC é determinada por uma tabela de valores que relaciona o pH SMP e t de calcário/ha para se atingir pH em água de 5,5, 6,0 ou 6,5. Detalhes sobre os diversos métodos de calagem empregados no Brasil constam em Wiethölter (2000b).

Para todos os métodos de cálculo acima, a calagem deve ser feita com antecedência em relação à outras práticas de manejo, de preferência de 3 a 6 meses antes da semeadura da cultura.

3.2. Gessagem

Muitos solos agrícolas brasileiros apresentam toxidez de alumínio e/ou deficiência de cálcio no subsolo que restringe o desenvolvimento normal de raízes em profundidade, a absorção de água e nutrientes e, como consequência, afeta negativamente a produtividade agrícola. A calagem, como discutido no tópico anterior, tem relativamente pouco efeito abaixo da camada de incorporação, que, em geral, é de 0 a 20 cm, na fase de implantação do SPD.

Vários trabalhos de pesquisa, notadamente na região do Cerrado, têm demonstrado que o uso do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), um subproduto da fabricação de ácido fosfórico, apresenta, em função de sua solubilidade, efeitos amplamente positivos no aumento do teor de cálcio e diminuição da toxidez de alumínio nas camadas subsuperficiais do solo, induzindo um maior aprofundamento do sistema radicular e maior produtividade de várias culturas.

Um ponto importante a ser considerado no uso de gesso agrícola na fase de construção da fertilidade do solo, é com referência à amostragem do solo para diagnose dos possíveis problemas que justifiquem o uso desse produto. Nesse caso, a tomada de decisão deve ser feita em função de análises químicas da camada subsuperficial, em geral de 20 a 40 cm, e às vezes, também de 40 a 60 cm, e não apenas da camada de 0 a 20 cm, normalmente utilizada nas análises de rotina para avaliação da fertilidade do solo. A recomendação da

utilização do gesso agrícola deve ser feita quando a camada subsuperficial apresentar as seguintes características:

$$\begin{aligned} \text{Ca: } &< 0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ e/ou} \\ \text{Al: } &> 0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \text{ e/ou} \\ \text{m: } &> 30\% \end{aligned}$$

em que m é a % de saturação da CTC efetiva por Al = $[Al/(Ca + Mg + K + Al)]$

As doses de gesso agrícola a serem aplicadas dependem da textura do solo, do teor de matéria orgânica, da proporção de cálcio em relação a outros cátions e da espécie vegetal (Lopes e Guilherme, 1994). Existem vários métodos de recomendação de doses de gesso em uso no Brasil, quase todos levando em conta o teor de argila do solo, que é o atributo mais simples para essa finalidade:

a) Uma das primeiras recomendações nesse sentido foi baseada em classes texturais: 500, 1.000, 1.500 e 2.000 kg de gesso para solos arenosos, barrentos, argilosos e muito argilosos, respectivamente. (Comissão 1989; Sousa, 1989).

b) Lopes e Guilherme (1994) sugerem o uso de doses de gesso, em kg/ha, para melhorar a camada de 20 a 40 cm com base no seguinte cálculo:

$$\text{Dose de gesso (kg/ha)} = 300 + 20 \times \% \text{ de argila.}$$

c) Sousa et al. (1992) desenvolveram uma série de equações para recomendar doses de gesso para melhorar a camada de 20 a 60 cm, também baseadas no teor de argila, sendo a mais simples a seguinte:

$$\text{Dose de gesso (kg/ha)} = 50 \times \% \text{ de argila.}$$

d) Para o Estado de Minas Gerais, Alvarez V. et al. (1999) recomendam calcular as doses de gesso, para correção de uma camada de 20 cm do solo, com base no teor de argila (Tabela 28) ou no valor de P-remanescente (Tabela 29).

Tabela 28. Necessidade de gesso (NG) de acordo com o teor de argila de uma camada subsuperficial de 20 cm de espessura. Fonte: Alvarez V. et al. (1999).

Argila	NG
%	t/ha
0 a 15	0,0 a 0,4
15 a 35	0,4 a 0,8
35 a 60	0,8 a 1,2
60 a 100	1,2 a 1,6

Tabela 29 . Necessidade de gesso (NG) de acordo com o valor de fósforo remanescente (P-rem) de uma camada subsuperficial de 20 cm de espessura. Fonte: Adaptado de Alvarez V. et al. (1999).

P-rem ⁽¹⁾	NG
mg/L	t/ha
0 a 4	1,7 a 1,3
4 a 10	1,3 a 1,0
10 a 19	1,0 a 0,7
19 a 30	0,7 a 0,4
30 a 44	0,4 a 0,2
44 a 60	0,2 a 0,0

⁽¹⁾Concentração de P na solução de equilíbrio, após agitação do solo por 1 hora com solução de CaCl₂ 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação de 1:10.

Embora os dados sobre os efeitos positivos do gesso como melhorador do ambiente radicular sejam abundantes no Brasil, em particular na região do Cerrado, existem evidências de excessiva lixiviação de bases trocáveis, principalmente Mg e K, quando da utilização de doses elevadas de gesso.

Para minimizar esses possíveis efeitos deletérios, deve-se levar em conta os seguintes pontos:

a) Para solos com características de acidez na camada superficial, convém fazer calagem 60 a 90 dias antes da aplicação de gesso;

b) Em solos com teores baixos em magnésio, a calagem prévia deve ser feita com calcário magnesiano ou dolomítico;

c) Considerar que cada tonelada de gesso por hectare poderá elevar o teor de cálcio em até $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$. Com base nesse valor, deve-se limitar a dose de gesso à no máximo 20% da CTC a pH 7,0 ocupada por cálcio advindo do gesso.

Observações: Os critérios para identificação de áreas com toxidez de alumínio e deficiências de cálcio nas camadas subsuperficiais do solo, bem como para recomendação de doses de gesso agrícola para minimizar esses problemas, descritos neste tópico, são também aplicáveis para áreas com SPD já implantados.

3.3. Adubação corretiva

Solos com teor muito baixo e baixo de fósforo e potássio apresentam maior capacidade produtiva após a implantação do SPD se eles receberem, previamente, adubações fosfatadas e potássicas corretivas. Isso tem sido recomendado principalmente na região do Cerrado, quando da abertura de novas áreas para a produção intensiva de grãos.

Das várias alternativas de como executar essas adubações corretivas, descritas em detalhes por Lopes (1983), as duas seguintes parecem as mais adequadas: a) Adubação corretiva total e b) Adubação corretiva gradual.

3.3.1. Adubação fosfatada corretiva

a) Adubação corretiva total A adubação corretiva total consiste na aplicação de uma dose relativamente alta de fertilizante fosfatado a lanço, em uma única vez, com incorporação mediante gradagem leve. As adubações seguintes são de manutenção no sulco de plantio, permitindo, assim, um bom desenvolvimento do sistema radicular e menor probabilidade de dano causado por veranico, fenômeno que ocorre em grandes áreas da região do Cerrado (Lopes, 1983; Lobato et al., 1986). As recomendações para a aplicação inicial de fertilizantes fosfatados a lanço situam-se entre 3 a 5 kg de P_2O_5 para cada 1% de argila (Lopes, 1983; Lopes e Guilherme, 1994).

Em um experimento recente de campo, conduzido por três anos em solo com 60% de argila, pela Fundação MT, em Sapezal, MT, verificou-se que, para latossolos da região do Cerrado, a dose de 4 kg de P_2O_5 para cada 1% de argila, como adubação fosfatada corretiva total (aplicação a lanço) e incorporação antes da semeadura, apenas antes do primeiro plantio, seguindo-se aplicações anuais de cerca de 80 kg de P_2O_5 no sulco, proporcionaram alta produtividade média de soja (ao redor de 60 sacos de soja por hectare), independentemente da fonte de fósforo utilizada para a adubação fosfatada corretiva (Tabela 30, Zancanaro et al., 2002). Deve-se levar em conta, entretanto, que o fosfato natural reativo utilizado nesse experimento apresentava granulometria bastante fina (77% < 0,5 mm) em comparação com a granulometria dos fosfatos naturais reativos farelados normalmente encontrados no mercado (100 % passando na peneira de 4,8 mm - ABNT N° 4 - e 80 % na peneira de 2,8 mm - ABNT N° 7 - com uma tolerância de até 15 % de partículas maiores de 4,8 mm).

Outro aspecto importante a ser observado nos dados da Tabela 30 é que existem várias alternativas de combinações de adubações fosfatadas corretivas a lanço, seguindo-se aplicações, no sulco, de fonte solúvel em água, que podem levar à produtividades médias de soja em três anos acima de 55 ou 60 sacos por hectare em solos originalmente muito deficientes em fósforo.

Tabela 30. Produtividade média da soja em função de fontes de fósforo, forma de aplicação e quantidade aplicada em solo argiloso (60% de argila) e muito baixo em P (0,6 mg/dm³), na região de Sapezal (MT). Média das safras de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Fonte: Zancanaro et al. (2002).

P ₂ O ₅ no sulco (kg/ha)	P ₂ O ₅ a lanço antes da semeadura e incorporado (kg/ha), apenas no primeiro plantio							
	Superfosfato triplo				Fosfato natural reativo ⁽¹⁾			Super- fosfato simples
	0	80	160	240	80	160	240	240
	----- Sacos/ha -----							
0	6,8	18,9	31,2	39,3	20,0	28,9	37,5	40,4
37	27,1	37,1	46,1	51,5	38,1	45,0	49,2	54,4
79	45,6	51,6	57,3	61,9	51,9	55,3	59,6	61,8
115	56,3	58,7	62,4	65,0	59,5	62,3	63,8	65,2
146	60,8	62,5	64,7	65,7	64,1	63,5	66,3	66,3

⁽¹⁾ Granulometria bastante fina.

Mais recentemente, Sousa e Lobato (2002) estabeleceram critérios para calcular as doses da adubação fosfatada corretiva total para a região do Cerrado, de acordo com a disponibilidade de fósforo no solo (muito baixa, baixa ou média), com o teor de argila ou com o teor de P-remanescente, em sistemas agrícolas com culturas anuais de sequeiro e irrigado (Tabela 31). O P remanescente (P-rem), é um índice da capacidade de retenção de P pelo solo (quanto maior a capacidade de retenção, menor o valor de P-rem), que se relaciona com o teor de argila do solo e sua mineralogia. As fórmulas apresentadas nessa tabela permitem definir com maior precisão as quantidades de P_2O_5 como adubação corretiva total, indicando, ainda, atributos relativos à solubilidade dos fertilizantes fosfatados na definição dessas doses (Ver nota de rodapé ⁽²⁾ da Tabela 31).

Tabela 31. Recomendação de adubação fosfatada corretiva total de acordo com o teor de fósforo, calculada com base no o teor de argila ou de P remanescente do solo, em sistemas agrícolas com culturas anuais de sequeiro e irrigados. Fonte: Sousa e Lobato (2002).

Sistema agrícola	Variável	Teor de P no solo ⁽¹⁾		
		Muito baixo	Baixo	Médio
		----- P_2O_5 (kg/ha) ⁽²⁾ -----		
Sequeiro	Teor de argila ⁽³⁾	4 x argila	2 x argila	1 x argila
Irrigado	Teor de argila	6 x argila	3 x argila	1,5 x argila
Sequeiro	P-rem ⁽⁴⁾	260-(4 x P-rem)	130-(2 x P-rem)	65-(1 x P-rem)
Irrigado	P-rem	390-(6 x P-rem)	195-(3 x P-rem)	98-(1,5 x P-rem)

⁽¹⁾Classe de teor de P no solo: ver Tabela 31. ⁽²⁾ P_2O_5 solúvel em citrato de amônio neutro mais água, para os fosfatos acidulados; solúvel em ácido cítrico 2% (relação 1:100) para termofosfatos e escórias; e total para os fosfatos naturais reativos. ⁽³⁾Teor de argila expresso em porcentagem. ⁽⁴⁾P remanescente (determinado nas análises de rotina nos laboratórios ligados ao PROFERT-MG), expresso em mg/L.

As fontes mais recomendadas para a adubação fosfatada corretiva total a lançar são os fertilizantes fosfatados acidulados, o termofosfato, as escórias e os fosfatos naturais reativos farelados. Em geral, para que sejam obtidos bons índices de eficiência agrônômica dos fosfatos naturais reativos farelados, é preciso considerar uma série de fatores. A velocidade de dissolução desses

fertilizantes depende do pH e dos teores de cálcio e de fósforo do solo: quanto menor o valor de cada um desses atributos, maior a taxa de solubilização. Outros fatores como intensidade das práticas de incorporação, tempo de contato com as partículas no solo antes do plantio e teor de umidade são importantes para aumentar a eficiência agrônômica desses produtos para o primeiro cultivo.

Alguns experimentos de campo têm proporcionado informações para orientação dos agricultores quanto ao manejo adequado dos fosfatos naturais reativos farelados para que sejam obtidas produtividades máximas econômicas numa sucessão de culturas (Rein et al. 1994; Kaminski e Peruzzo, 1997; Sousa e Lobato, 2000). Com base nestes trabalhos, é possível estabelecer um resumo de manejo para esses fertilizantes como segue:

1) Os fosfatos naturais reativos farelados aplicados a lanço e incorporados através de gradagem e em solos com pH em água até 5,5 e teor baixo em fósforo, têm eficiência agrônômica, para o primeiro cultivo, da ordem de 60 a 65%, em comparação com o superfosfato triplo (100%) também aplicado a lanço, sendo as doses estimadas pelo teor de P_2O_5 total desses fertilizantes;

2) A partir do segundo ou terceiro cultivos, a eficiência agrônômica dos fosfatos reativos farelados aplicados a lanço e incorporados com gradagem, em solos com pH em água até 5,5, pode atingir níveis equivalentes ou até superiores aos do superfosfato triplo, demonstrando haver elevado efeito residual desses produtos.

b) Adubação corretiva gradual. Essa alternativa consiste na utilização, no sulco de plantio, por um período de 4 a 5 anos, de doses de 30 a 40 kg de P_2O_5 solúvel, acima das doses normalmente recomendadas para os tetos de produção esperados das culturas de interesse. Como as linhas de plantio normalmente não coincidem, aos poucos ocorre uma construção gradual da fertilidade do solo. Após se atingir um teor médio ou bom pelo

monitoramento com análise do solo, a adubação pode ser a de manutenção. Os dados apresentados na Tabela 30 indicam, também, que mesmo em solos extremamente pobres em fósforo (0,6 mg P/dm³) e argilosos, foi possível alcançar boa produtividade de soja na média para três anos de cultivo (56 sacos/ha), sem adubação fosfatada corretiva a lanço, utilizando apenas a adubação corretiva gradual, qual seja, a aplicação de 115 de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, no sulco de plantio (Zancanaro et al., 2002).

Sousa e Lobato (2002) também apresentam orientações de cunho prático para o estabelecimento de doses de fósforo (em kg de P₂O₅/ha) a serem usadas na adubação corretiva gradual em sistemas agrícolas com culturas anuais de sequeiro na região do Cerrado, levando-se em conta o teor de argila do solo e a disponibilidade de fósforo (Tabela 32).

Os critérios para interpretação da análise de fósforo e a tomada de decisão quanto à adubação fosfatada corretiva, tanto total como gradual, são apresentados na Tabela 33 (Sousa e Lobato, 2002).

Tabela 32. Recomendação de adubação fosfatada corretiva gradual em cinco anos, de acordo com o teor de fósforo e de argila do solo, em sistemas agrícolas com culturas anuais de sequeiro. Fonte: Sousa e Lobato (2002).

Teor de argila	Teor de P no solo ⁽¹⁾		
	Muito baixo	Baixo	Médio
%	----- P ₂ O ₅ (kg/ha/ano) ⁽³⁾ -----		
≤ 15 ⁽²⁾	70	65	63
16 a 35	80	70	65
36 a 60	100	80	70
> 60	120	90	75

⁽¹⁾ Classe de teor de P no solo: ver Tabela 31. ⁽²⁾ Para esta classe textural, teor de (argila + silte) ≤ 15%. ⁽³⁾ Utilizar produtos com alta solubilidade em água e citrato neutro de amônio.

Tabela 33. Interpretação de análise de solo para fósforo no extrator Mehlich-1 de acordo com o teor de argila e P-remanescente (P-rem) e pelo método da resina trocadora de íons para recomendação da adubação fosfatada em sistemas de culturas anuais de sequeiro e irrigados na região dos cerrados. Fonte: Sousa e Lobato (2002).

Teor de argila (%)	Teor de P no solo, extrator Mehlich – sistema sequeiro				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg/dm ³ -----				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
Teor de argila (%)	Teor de P no solo, extrator Mehlich – sistema irrigado				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg/dm ³ -----				
≤ 15	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0
16 a 35	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
36 a 60	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
> 60	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
P rem mg/L	Teor de P no solo, extrator Mehlich – sistema sequeiro				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg/dm ³ -----				
≤ 10	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
11 a 30	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
31 a 45	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
46 a 60	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
P rem mg/L	Teor de P no solo, extrator Mehlich – sistema irrigado				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg/dm ³ -----				
≤ 10	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
11 a 30	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
31 a 45	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
46 a 60	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0
Sistema agrícola	Teor de P no solo extraído pela resina trocadora de íons				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg/dm ³ -----				
Sequeiro	0 a 5	6 a 8	9 a 14	15 a 20	> 20
Irrigado	0 a 8	9 a 14	15 a 20	21 a 35	> 35

Para o Estado do Mato Grosso, experimentos de campo conduzidos pela Fundação MT com a cultura da soja, por três anos, sugerem alterações, tanto no critério de interpretação de análise de solo para fósforo pelo método Mehlich-1, em função do teor de argila do solo (Tabela 34), quanto nas doses de adubação fosfatada corretiva (Tabela 35) e adubação fosfatada no sulco de plantio (Tabela 36) para se atingir alta produtividade de soja (55 a 60 sacos/ha).

Tabela 34. Interpretação de análise de solo para recomendação de adubação fosfatada (fósforo extraído pelo método Mehlich-1 no Estado de Mato Grosso. Fonte: Zancanaro et al. (2002)

Teor de argila (%)	Teor de P (mg/dm ³)			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom
61 a 80	0 a 1,9	2,0 a 3,9	4,0 a 5,9	> 6,0
41 a 60	0 a 4,9	5,0 a 7,9	8,0 a 11,9	> 12,0
21 a 40	0 a 5,9	6,0 a 11,9	12,0 a 17,9	> 18,0
< 20	0 a 7,9	8,0 a 14,9	15,0 a 19,9	> 20,0

Tabela 35. Recomendação de adubação fosfatada corretiva ⁽¹⁾ em kg de P₂O₅/ha, de acordo com o teor de argila do solo. Fonte: Zancanaro et al. (2002).

Teor de argila (%)	Teor de P (mg/dm ³)	
	Muito baixo	Baixo
	----- P ₂ O ₅ (kg/ha) -----	
61 a 80	300	200
41 a 60	250	175
21 a 40	200	135
< 20	150	100

⁽¹⁾ Adubação corretiva a lanço para soja: a quantidade deve ser avaliada em função do teor de argila, valor da soja e pelo retorno esperado com as maiores produtividades que podem ser alcançadas nos primeiros 4 anos.

Tabela 36. Recomendação de adubação fosfatada no sulco de semeadura da soja ⁽¹⁾ de acordo com a disponibilidade de fósforo no solo, para o Estado de Mato Grosso, vegetação de cerrado. Fonte: Zancanaro et al. (2002).

Teor de argila (%)	Teor de P (mg/dm ³)			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom
	----- P ₂ O ₅ (kg/ha) ⁽²⁾ -----			
61 a 80	> 120 ⁽³⁾	110	80	60 ⁽⁴⁾
41 a 60	> 120 ⁽³⁾	100	80	60 ⁽⁴⁾
21 a 40	120 ⁽³⁾	100	80	60 ⁽⁴⁾
< 20	120 ⁽³⁾	90	80	60 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ A adubação fosfatada poderá ser feita a lanço quando os teores de fósforo forem interpretados como bom nos últimos três anos de cultivo, e se a produtividade dos últimos três anos estiver acima de 55 sacos/ha; ⁽²⁾ As quantidades de fósforo sugeridas referem-se a fósforo solúvel em citrato de amônio neutro mais água e podem variar em função do nível de produtividade desejada, nível de investimento disponível e preço esperado. As quantidades sugeridas referem-se a uma expectativa de produtividade de 55 a 60 sacos/ha, para área com vários anos de cultivo. Para áreas novas, 50 a 55 sacos/ha, sendo que a obtenção de produtividades maiores também depende da uniformidade da lavoura, já que, de modo geral, as áreas novas apresentam maior desuniformidade; ⁽³⁾ Em condições de fósforo muito baixo, têm sido encontradas respostas lineares a fósforo aplicado na linha de semeadura até a maior quantidade aplicada (150 kg de P₂O₅/ha). Portanto, se o fósforo no solo estiver classificado como muito baixo ou baixo, e se houver possibilidade de realizar maior investimento em fósforo e/ou, os preços da soja forem promissores poderão ser utilizadas quantidades maiores que as sugeridas nesta tabela; ⁽⁴⁾ As quantidades recomendadas equivalem à reposição da extração esperada para estas produtividades e podem ser reduzidas por uma safra em função de condições desfavoráveis de preços.

3.3.2. Adubação potássica corretiva

Para algumas situações específicas de solos com teores baixos ou médios de potássio, onde se pretende implantar o SPD, é conveniente proceder a uma adubação potássica corretiva total, a lanço, visando a correção imediata dessa deficiência, seguido de aplicações anuais para repor a extração de potássio pelas culturas.

À semelhança do anteriormente mencionado para a adubação fosfatada corretiva (Sousa e Lobato, 2002), a adubação potássica corretiva pode ser feita também de maneira gradual, através de aplicações anuais de doses de K_2O um pouco maiores que aquelas recomendadas pela adubação de manutenção realizadas no sulco de plantio. Nesse caso, como as linhas de plantio normalmente não coincidem, a repetição dessa prática por 4 ou 5 anos vai permitir a construção gradual homogênea da fertilidade do solo. Após atingir-se um teor adequado de potássio no solo, a adubação necessária é apenas a de manutenção.

As doses recomendadas para adubação potássica corretiva (total ou gradual) para culturas anuais na região do Cerrado em função do teor de potássio e da CTC a pH 7,0 estão resumidas na Tabela 37 (Sousa e Lobato, 2002).

Tabela 37. Doses de K_2O (kg/ha) para adubação potássica corretiva total ou gradual para culturas anuais na região do Cerrado. Fonte: Adaptado de Sousa e Lobato, 2002.

Teor de K ---- mg/dm ³ ----	Interpretação	Corretiva total ----- K ₂ O (kg/ha) -----	Corretiva gradual
CTC a pH 7,0 menor que 4,0 cmol _c /dm ³			
≤ 15	Baixo	50	70
16 a 30	Médio	25	60
31 a 40	Adequado ⁽¹⁾	0	0
> 40	Alto ⁽²⁾	0	0
CTC a pH 7,0 igual ou maior que 4,0 cmol _c /dm ³			
≤ 25	Baixo	100	80
26 a 50	Médio	50	60
51 a 80	Adequado ⁽¹⁾	0	0
> 80	Alto ⁽²⁾	0	0

⁽¹⁾ Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se uma adubação de manutenção de acordo com a expectativa de produção. ⁽²⁾ Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se 50% da adubação de manutenção ou da extração de potássio esperada ou estimada com base na última safra. Extração: kg de K_2O /t de grãos: arroz = 3,6; milho = 6,0; sorgo = 6,0; soja = 20; feijão = 25; trigo = 6,0; kg de K_2O /t de parte aérea: capim napier = 24; capim marandu = 22; *Brachiaria decumbens* = 16.

Uma forma geral de determinar a dose de K_2O para aplicação a lanço, dentro do conceito de adubação potássica corretiva total, é calcular a dose visando atingir 3 a 5% da CTC a pH 7,0 saturada por potássio, conforme tem sido recomendado para a região do Cerrado (Lopes e Guilherme, 1994), ou 1,5 a 2%, valores estes que têm sido sugeridos para a região Sul do Brasil, a qual apresenta, geralmente, solos com maior CTC que os da região do Cerrado. Para o cálculo, considera-se que para elevar em $0,01 \text{ cmol}_c \text{ K} / \text{dm}^3$ o teor de potássio na análise de solo, necessita-se aplicar $9,4 \text{ kg de } K_2O / \text{ha}$, considerando-se a camada de incorporação de 0 a 20 cm. Detalhes dos cálculos são encontrados em Lopes e Guilherme (1994).

3.3.3. Adubação corretiva com micronutrientes

A adubação com micronutrientes tanto no SPC como no SPD, nos solos que apresentam deficiência, pode ser feita no sulco de plantio, via adubação foliar, ou tratamento de sementes. Entretanto, embora não seja comum, o conceito da construção da fertilidade do solo referente à calagem, P e K, como preparação para a entrada no SPD, pode ser aplicado também para os micronutrientes.

Nesse caso, pelo menos duas alternativas a serem seguidas podem servir de base para a tomada de decisão, ambas para aplicação a lanço com incorporação: a) fritas silicatadas; b) sais solúveis de zinco e cobre.

a) Fritas silicatadas – No caso de solos que apresentem deficiências múltiplas de micronutrientes, identificadas através da análise do solo, é recomendável uma adubação corretiva com esses micronutrientes na forma de fritas. Esses produtos têm solubilidade controlada pelo tamanho das partículas e por variações na composição da matriz. Eles são obtidos pela fusão de silicatos ou fosfatos com uma ou mais fontes de micronutrientes, a aproximadamente $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$, seguido de resfriamento rápido com água, secagem e moagem (Mortvedt e Cox, 1985). Por serem insolúveis em água, as fritas são mais eficientes se aplicadas na forma de pó fino, a lanço com incorporação, em solos mais arenosos, sujeitos a altos índices pluviométricos, altas taxas de lixiviação e com pH próximo a 5,5. Existem disponíveis no mercado, fritas com várias combinações de composição de micronutrientes.

b) Sais solúveis de zinco e cobre - Sais solúveis de zinco e de cobre, quando aplicados a lanço com incorporação, em doses de 1,2 a 7,2 kg de Zn/ha e de 1,2 a 4,8 kg de Cu/ha, apresentaram efeito residual por 3 anos em solos argilosos da região do Cerrado, sendo essa tecnologia eficiente para a adubação corretiva com esses micronutrientes para essas condições (Galvão, 1994; 1996; 1999). Já os sais solúveis de ferro e manganês, mesmo quando aplicados em altas doses, não apresentam acentuado efeito residual, não sendo adequados para utilização em adubações corretivas (Lopes, 1999a). Óxidos de zinco e cobre, quando finamente moídos, também podem ser utilizados para essa adubação corretiva, enquanto que os oxi-sulfatos devem ter pelo menos 40% de solubilidade em água para serem aplicados na forma granulada nas adubações corretivas com esse micronutrientes.

4. Manejo da fertilidade no sistema plantio direto

4.1. Amostragem do solo para fins de avaliação da fertilidade

Um dos requisitos básicos do manejo da fertilidade do solo, como instrumento de fundamental importância para a orientação correta das doses de corretivos e fertilizantes a serem utilizadas em uma lavoura, é a coleta de amostras de solos que representem adequadamente uma determinada área, gleba ou talhão. Isso é importante por causa da heterogeneidade, que é uma condição natural do solo, tanto no sentido horizontal como no vertical, sendo resultado dos fatores de formação do solo (clima, topografia, material de origem, vegetação, organismos, através de processos físicos, químicos e biológicos e tempo) e da aplicação de corretivos e de fertilizantes (Freire et al., 2000).

No sistema de agricultura convencional, através da aração e gradagem, ocorre a formação de uma camada superficial mais ou menos uniforme, que corresponde, em geral, à profundidade que os implementos agrícolas operam, 15 a 20 cm, sendo essa a profundidade a ser amostrada para fins de avaliação da fertilidade do solo.

No SPD, a aplicação de calcário na superfície, dos fertilizantes a lanço ou em linha e a manutenção da palha na superfície do solo ampliam a

variabilidade espacial, tanto no sentido horizontal como vertical, gerando acentuados gradientes verticais nos teores de nutrientes no solo, mormente de P e de K. Além disso, como foi mencionado anteriormente, na fase inicial de implementação do SPD (4 a 5 anos) ou até que o sistema entre numa fase de maior estabilização, a variabilidade horizontal é também muito acentuada. Por esse motivo, um assunto que vem merecendo muita atenção dos pesquisadores é como fazer uma amostragem correta do solo no SPD.

Segundo Wiethölter (2000c) uma primeira aproximação de amostragem de solo para plantio direto para os solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina foi feita pela Comissão de Fertilidade do Solo em 1987 (Siqueira et al., 1987), tendo sido aperfeiçoada em 1989, em 1995 (Comissão, 1989, 1995) e em 1997 (Reunião, 1997). Vários estudos foram realizados na década de 1990, visando determinar a profundidade ideal de amostragem, o número mínimo de amostras simples para solos sob plantio direto e equipamentos mais recomendados para a coleta de amostras (Anghinoni e Salet, 1998; Anghinoni, 1999; Schindwein, 1999).

As recomendações atuais para amostragem em plantio direto nesses estados, as quais foram resumidas por Anghinoni et al. (2002), são as seguintes:

a) Admitindo-se uma probabilidade de erro de 0,05 e uma variação de 20% em torno da média, seriam necessárias, no mínimo, 15 subamostras para compor uma amostra representativa de solo sob plantio direto.

b) Para áreas em que a adubação é feita a lanço, a coleta de subamostras com pá-de-corte de 5 cm de espessura e 10 cm de largura ou com caladores de 5 a 6 cm de diâmetro, mostrou-se adequada. Os trados de rosca ou holandês não são instrumentos apropriados, em virtude da facilidade de perda da camada superior (primeiros centímetros) e também pelo usual pequeno diâmetro do trado de rosca.

c) Em lavouras em que a última adubação foi realizada na linha de semeadura, a coleta, com pá-de-corte, de uma fatia contínua de 3 a 5 cm de espessura, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, no espaço de entrelinha a entrelinha, particularmente em lavouras com teores de P e de K no solo abaixo

do nível de suficiência, é importante. A pá-de-corte pode ser substituída pela coleta com trado calador numa linha transversal às linhas de semeadura, coletando um ponto no centro da linha e um de cada lado se for cereal de inverno, um no centro e três de cada lado se for soja, ou um no centro e seis de cada lado se for milho (Nicolodi et al., 2002). Havendo interesse em desconsiderar o fertilizante remanescente da última adubação, a coleta também pode ser realizada somente na entrelinha, usando-se trado calador ou pá-de-corte.

d) A amostra pode ser coletada na camada de 0 a 10 cm de profundidade, particularmente em lavouras com conteúdo de P e de K no solo abaixo do nível de suficiência. Para solos com conteúdo de P e de K acima desse nível, a amostragem de 0 a 10 ou de 0 a 20 cm de profundidade pode ser usada, pois os resultados não afetarão a recomendação de adubação. Quando há evidência de presença de um acentuado gradiente de acidez, convém coletar amostras nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de profundidade, permitindo-se, dessa forma, um conhecimento mais amplo do solo, mormente do teor de Al trocável.

Já para os estados do Paraná (Sá, 1999) e Minas Gerais (Lopes, 1999b) recomenda-se variação quanto ao critério de amostragem levando-se em conta as duas fases no SPD e o sistema da adubação utilizado. A **fase de implantação** pode ser definida como os primeiros cinco anos com uma cultura anual em SPD adubada ou seis cultivos seqüenciais adubados, sendo que, períodos com culturas de cobertura ou seqüenciais, sem adubação, não devem ser considerados. A **fase estabelecida** é aquela após a fase de implantação.

Nesse contexto, deve-se considerar a diferença entre os sistemas de adubação utilizados:

1) Áreas sob SPD com adubação a lanço:

a) Fase de implantação: Utilizar o mesmo procedimento do sistema convencional (15 subamostras por gleba na camada de 0 a 20 cm) durante a fase de implantação e na próxima amostragem, que deve ocorrer ao término do 3º cultivo adubado.

b) Fase estabelecida: Na amostragem seguinte, que deve ocorrer ao término do 6º cultivo, amostrar a camada de 0 a 10 cm.

Os equipamentos recomendados para a coleta de amostras são a pá-de-corte, retirando uma camada de 5 cm de espessura e 10 cm de largura ou caladores de 5 a 6 cm de diâmetro.

2) Áreas sob SPD com adubação em linha:

a) Fase de implantação: Amostrar com pá-de-corte, na camada de 0 a 20 cm, perpendicular ao sentido da linha de semeadura, toda a faixa correspondente à largura da cultura com o maior espaçamento no último ano agrícola. Retirar uma fina fatia de solo (aproximadamente 5 cm de espessura) em 15 locais por gleba para formar uma amostra composta.

b) Fase estabelecida: Amostrar com pá-de-corte, na camada de 0 a 10 cm, perpendicularmente ao sentido da linha, toda a faixa correspondente à largura da entrelinha da última cultura, conforme indicado na Figura 11. Coletar em 15 locais por gleba para formar uma amostra composta.

O volume de terra a ser coletado por amostra simples, em lavouras sob plantio direto adubadas em linha, usando a pá reta ou vários furos com trado calador, como anteriormente explicado, é muito grande. Isso vai dificultar a obtenção de uma amostra composta uniforme e representativa, ao final dos 15 pontos de amostragem, além de ficar difícil e pesado o transporte das amostras simples entre esses pontos de amostragem.

A recomendação para resolver esse problema consiste no uso de dois baldes para a coleta das amostras e seguir o seguinte esquema: a) Após coletar a amostra simples no primeiro ponto de amostragem, colocar no balde maior (Figura 11 - A), destorroar e misturar bem a amostra coletada, tomando da mistura homogênea, uma sub-amostra de volume uniforme (200 cm³); b) Transferir essa sub-amostra para o balde menor (B); c) Repetir esse procedimento nos outros 14 pontos de amostragem; d) Ao final, fazer uma mistura uniforme das 15 sub-amostras de 200 cm³ do conteúdo do balde menor, para formar a amostra composta da qual será tomada

aproximadamente 300 a 500 g, que deverá ser enviada ao laboratório para análise (C).

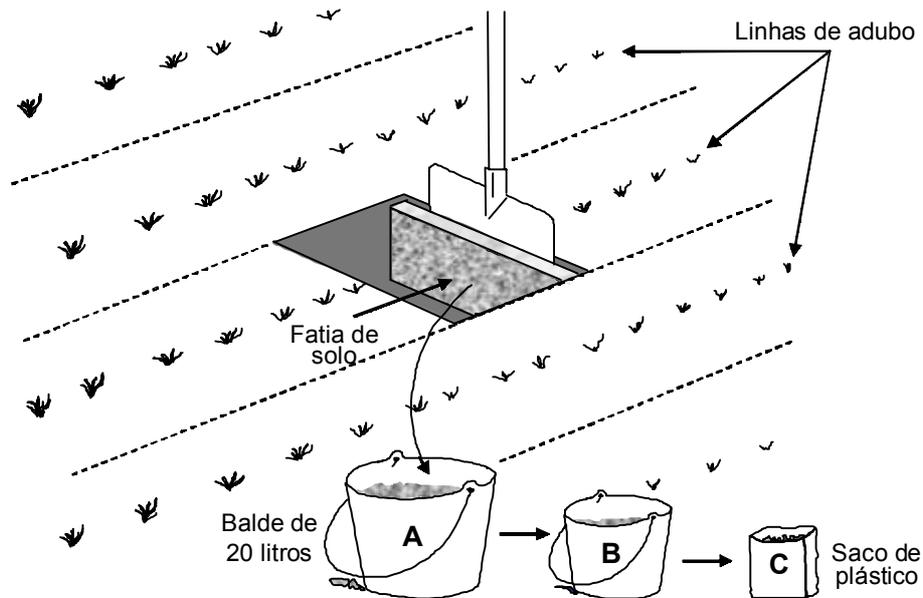


Figura 11: Coleta de amostras de solo no sistema plantio direto em áreas adubadas em linha (Fonte: Adaptado de Comissão..., 1995).

4.2. Calagem

Um dos temas mais debatidos em relação ao manejo da fertilidade do solo no SPD diz respeito à maior ou menor eficiência da aplicação superficial de corretivos visando a correção da acidez das camadas subsuperficiais. Várias dúvidas persistem ainda com relação a doses e métodos de recomendação para as diferentes regiões onde esse sistema está em plena evolução.

Embora alguns trabalhos tenham mostrado mobilidade limitada decorrente da aplicação superficial de calcário em solos brasileiros (Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), em outros foram verificados aumentos no valor do pH e redução do Al trocável no subsolo (Chaves, et al 1984; Caires et al., 1998, 1999, 2000).

As várias hipóteses que têm sido levantadas para explicar a ação corretiva do calcário aplicado na superfície dos solos sob SPD, nas camadas sub-superficiais, foram resumidas no tópico 2.2.2. (Freire et al., 2000; Caíres et al., 2000). Esses argumentos, associados aos resultados de pesquisa desenvolvidos na região Sul do Brasil, onde boas produções de culturas como milho, soja e trigo têm sido obtidas no SPD, em solos com pH ácido, na ausência ou com o uso de pequenas doses de calcário indicam que, sob esse sistema, a tendência é de redução da necessidade de calagem.

Embora haja um crescente consenso entre pesquisadores sobre a menor necessidade de calagem no SPD, principalmente naquelas áreas em que o sistema já está estabilizado, os métodos para se estimar a dose e recomendar calagem para o SPD variam de acordo com o autor e região do Brasil.

Wiethölter (2000c) apresentou um resumo sobre a evolução dos critérios de recomendação de calagem em SPD no sul do país (Tabelas 38 e 39). A recomendação inicial de calagem no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, estabelecida em 1995, para áreas em que o sistema plantio direto estava consolidado, foi de 1 a 2 t/ha em intervalos de 2 a 3 anos (Comissão, 1995, Tabela 38).

Em função dos dados sobre o efeito da calagem no sistema plantio direto, a recomendação de calcário para a cultura de soja nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina passou a ser, em 1997, a seguinte:

a) para lavouras sob plantio direto, amostrar o solo na camada de 0 a 20 cm e aplicar, a lanço na superfície, $\frac{1}{4}$ da dose estimada pelo método SMP para pH 6, se o pH for menor que 6,0 ou a saturação por bases (SB) for menor que 60%;

b) para solos sob plantio direto que já tenham recebido calcário na superfície, amostrar na camada de 0 a 10 cm e aplicar $\frac{1}{4}$ SMP para pH 6 na superfície, se o pH em água for menor que 5,5 ou a saturação por bases for menor que 60%;

c) para solos sob vegetação de pastagem nativa e que serão convertidos para a produção de culturas de lavoura sem o preparo de solo,

aplicar, seis meses antes da primeira cultura, $\frac{1}{4}$ SMP a $\frac{1}{2}$ SMP (solos argilosos) para pH 6.

No ano de 2003, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo estabeleceu os critérios de calagem constantes na Tabela 39, limitando-se o pH em 5,5 e a saturação por bases em 65%, exceto para a cevada, que deve ser, preferencialmente, cultivada em solos com pH maior e que não apresentem Al trocável (Wiethölter, 2003).

Tabela 38. Evolução das recomendações de calcário para o sistema plantio direto. Fonte: Wiethölter, 2000c.

Recomendação	Textura do solo	Dose, t/ha	Intervalo (anos)
Sá (1993)	Arenosa	1,0 - 1,5	2
	Média	1,5 - 2,0	2
	Argilosa	2,0 - 2,5	2
RS/SC (Comissão..., 1995)	-	01/fev	2 a 3
RS/SC (Reunião..., 1997)	-	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ SMP para pH 6,0	3

Tabela 39. Calagem para solos sob plantio direto no RS e SC a partir do ano 2003. Fonte: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – NRS-SBCS, Wiethölter (2003).

Manejo do solo	Amostragem (cm)	Fator de decisão	Dose ⁽¹⁾
Lavoura ⁽²⁾	0 a 10	pH em água < 5,5 e Saturação por bases ⁽³⁾ < 65%	$\frac{1}{2}$ SMP pH 5,5
Campo natural ⁽⁴⁾	0 a 10	pH em água < 5,5 e Saturação por bases ⁽³⁾ < 65%	1 SMP pH 5,5

⁽¹⁾ Quantidade de calcário (PRNT 100 %) estimada pelo método SMP para o solo atingir o pH em água indicado. ⁽²⁾ Reamostrar de 0 a 10 cm, 4 a 5 anos após. Aplicar no máximo 5 t/ha. Para cevada, usar $\frac{1}{2}$ SMP para pH 6. ⁽³⁾ Saturação por bases = $(Ca+Mg+K)/(Ca+Mg+K+H+Al) \times 100$, sendo os elementos expressos em $cmol_c/dm^3$. ⁽⁴⁾ Reamostrar a camada de 0 a 10 cm, 3 a 4 anos após. Aplicar o calcário no mínimo 6 meses antes do plantio da primeira cultura.

Na prática, as doses indicadas nas Tabelas 38 e 39 são semelhantes. O critério baseado na aplicação periódica de quantidades fixas de calcário (Sá, 1993; Comissão, 1995) é válido desde que o solo seja monitorado por meio de análises químicas periódicas (pH, índice SMP, V% e m%). Ainda deve ser levado em consideração que a aplicação de uma fração ($\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$) da dose estimada pelo método SMP para pH 6 (Reunião, 1997) ou $\frac{1}{2}$ SMP para pH 5,5 (Tabela 39) pode ser inviável, pois pequenas quantidades de calcário (< 2 t/ha) são difíceis de serem aplicadas uniformemente com os equipamentos de distribuição de calcário disponíveis. Nesse caso, convém protelar a calagem até que o solo apresente suficiente acidez e haja maior probabilidade de resposta econômica das culturas à calagem. Por último, a calagem também poderia ser parcelada, aplicando-se a cada dois anos a dose necessária para corrigir uma camada de 5 cm, conforme sugerido por Anghinoni e Salet (2000).

Para o estado do Paraná, Sá (1999) sugere que a dose de calcário a ser utilizada pode ser resultante dos seguintes procedimentos:

1. Solos argilosos: $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ da necessidade de calagem calculada pelo método da saturação por bases para a profundidade de amostragem de 0-20 cm. Aplicar no máximo 2,5 t/ha.

2. Solos argilo-arenosos e arenosos: $\frac{1}{2}$ da necessidade de calagem calculada pelo método da saturação por bases para a profundidade de amostragem de 0-20 cm. Aplicar no máximo 1,5 a 2,0 t/ha.

Sá (1999) apresenta, ainda, algumas observações sobre a recomendação da calagem em superfície:

1. Em áreas onde a acidez foi previamente corrigida antes da adoção do plantio direto, a aplicação de calcário na superfície deve iniciar-se somente após o quarto ano ou no momento em que acidez for identificada pela análise do solo;

2. Em solos argilosos, argilo-arenoso e arenosos, quando forem encontrados valores de saturação por bases iguais ou superiores a 45-50% não deve ser aplicado calcário em superfície. Na avaliação de áreas comerciais foram constatados alguns casos com ocorrência de deficiência de zinco e manganês na cultura de milho e soja, respectivamente. Nestes casos, a saturação por bases das áreas era superior a 50% e a aplicação resultou na elevação do pH para valores superiores a 6,0 na camada superficial de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm, induzindo estas deficiências;

Para o estado de Minas Gerais, Lopes (1999b) recomenda que, após a implantação do SPD, as doses de calcário podem ser reduzidas para um terço quando a amostragem for feita na camada de 0 a 20 cm, e à metade, quando a amostragem for feita na camada de 0 a 10 cm, utilizando-se um calcário de granulometria fina. Como princípio, a calagem no SPD deve ser feita com menores doses anuais ou bienais, ao invés das doses usuais a cada quatro ou cinco anos, como no sistema convencional.

Para áreas de Cerrado, Sousa e Lobato (2000) indicam que a acidez superficial não é problema quando a saturação por bases do solo estiver em torno de 50% e o pH em água próximo a 6,0. A relação Ca:Mg no solo, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, deve situar-se no intervalo de 1:1 até 10:1, cuidando para se ter o teor mínimo de 0,5 cmol_c de Mg/ dm^3 .

4.3. Adubação nitrogenada

O manejo para alta eficiência da adubação nitrogenada no SPD é um dos assuntos mais complexos em função dos vários fatores que interagem na dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera. Os fatores anos de adoção do plantio direto, teor de matéria orgânica, estoque de N acumulado, textura do solo, intensidade pluviométrica, tipos de rotação e/ou sucessão de culturas, tipos e quantidade de resteva presente, dentre outros, e, sobretudo, a existência de pequeno número de experimentos de

campo de longa duração, envolvendo a adubação nitrogenada no SPD, à exceção da Região Sul do Brasil, não permitem a adoção de regras gerais aplicáveis às diversas situações de solos, clima e culturas onde esse sistema é praticado.

Entretanto, é possível seguir certos princípios para que as adubações nitrogenadas sejam feitas de modo mais eficiente possível e com o mínimo de possibilidade de gerar problemas ambientais pelo uso excessivo desse insumo, que é indispensável para que sejam atingidas produtividades máximas econômicas tanto no SPC como no SPD. Assim sendo, mesmo com o perigo de representar uma super simplificação para um tema tão complexo, apresentam-se as seguintes orientações:

(1) Durante a fase inicial de implementação do SPD, o que corresponde aos primeiros 3 a 4 anos, período em que ainda não ocorreram aumentos sensíveis no teor de matéria orgânica no solo, as doses de nitrogênio aplicadas em sulco no plantio das culturas anuais devem ser aumentadas em relação àquelas utilizadas sob sistema convencional e encontradas nas recomendações oficiais mais antigas. A razão principal para esse aumento da dose de N é suprir o solo com N para ser elaborada matéria orgânica nova, pois a matéria orgânica do solo contém cerca de 5% de N.

(2) É também importante, durante essa fase inicial de implementação do SPD, levar em consideração a rotação e a seqüência de culturas a serem adotadas, principalmente conhecer a relação C/N e uma estimativa da quantidade de resteva das plantas de cobertura que antecedem a uma cultura de interesse. Por exemplo, milho a ser plantado sob resteva com uma relação C/N alta (superior a 30/1), ou seja, quando existe falta de N no sistema, em decorrência da presença de resíduos vegetais ricos em carbono (aveia, centeio, milho, milheto e trigo, dentre outras), deve ter a dose de nitrogênio na base aumentada para 30 a 50 kg de N/ha.

(3) A utilização de uma leguminosa antecedendo o milho no SPD pode proporcionar redução na necessidade de aplicação

de nitrogênio da ordem de 50%. Isso pode representar uma economia substancial no custo de produção.

(4) A aplicação parcial ou total de nitrogênio na cultura de cobertura de alta relação C/N antecedente ao milho pode ser uma prática viável para situações de SPD já estabilizado, em áreas que já apresentam aumentos acentuados de matéria orgânica em relação ao solo da fase pré-SPD, e em anos com chuvas normais durante a primavera.

(5) Para diminuir as possíveis perdas por volatilização de nitrogênio, principalmente quando a fonte de N for uréia, seja nas aplicações antecipadas para as plantas de cobertura que antecedem ou nas adubações de plantio ou em cobertura da cultura de interesse, as aplicações devem ser preferencialmente em sulco, cobrindo-se o fertilizante com uma camada de 5-7 cm de solo, podendo essa prática aumentar o rendimento em cerca de 5%.

(6) Quando se dispõe de um sistema de irrigação, a uréia deve ser aplicada imediatamente antes da irrigação, não havendo necessidade para a sua incorporação. Embora haja variações quanto ao tipo de solo e conteúdo de água, na média, para cada 1 mm de irrigação a água infiltra aproximadamente 1 cm. Assim sendo, uma irrigação com 10 mm de lâmina d'água após a aplicação superficial de uréia é suficiente para inibir a formação de amônia.

(7) São praticamente inexistentes, nas recomendações oficiais de adubação desenvolvidas para os vários estados e/ou regiões, indicações específicas para a adubação nitrogenada das culturas no SPD. Uma exceção é o que está sendo implementado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, onde ocorre a integração de vários fatores (produtividade esperada, teor de matéria orgânica do solo e quantidade de biomassa e tipo de cultura precedente) na tomada de decisão sobre doses de nitrogênio para a cultura do milho (Tabela 40, Amado et al., 2002) e de cereais de inverno no SPD, (Tabela 41).

Tabela 41. Doses de nitrogênio indicadas para cereais de inverno cultivados sob sistema plantio direto, em função do teor de matéria orgânica e da cultura antecedente – RS/SC. Fonte: Wiethölter (2002a)

Matéria orgânica no solo	Cultura antecedente					
	Soja			Milho		
	Trigo e triticale	Cevada e aveia-branca	Centeio e aveia-preta	Trigo e triticale	Cevada e aveia-branca	Centeio e aveia-preta
---- % ----	----- N (kg/ha) -----					
≤2,5	80	60	40	100	80	50
2,6 – 3,5	60	40	20	80	60	30
3,6 – 4,5	50	30	20	60	40	30
4,6 – 5,5	40	20	20	40	20	30
> 5,5	< 40	< 20	< 10	< 40	< 20	< 10

Observação: quando os cereais de inverno forem cultivados para cobertura do solo, aplicar 20 kg de N/ha em cobertura visando aumentar a produção de biomassa, especialmente após milho.

4.4. Adubação fosfatada e potássica

Um dos aspectos marcantes no SPD é que as perdas de nutrientes por erosão, principalmente de fósforo e potássio, são muito menores do que quando ocorre erosão no sistema convencional de aração e gradagem. Além disso, em virtude da não incorporação ao solo dos adubos fosfatados e potássicos nas adubações anuais e a reciclagem desses nutrientes, como resultado do acúmulo dos resíduos das culturas em rotação, ocorre maior disponibilidade de fósforo e potássio nos primeiros 5 a 10 cm de solo. Isso permite, então, que a solos bem supridos desses nutrientes possam ser adicionadas doses menores de adubação de manutenção, sem afetar o rendimento das culturas.

Deve-se levar em conta, entretanto, que o processo de estabilização do SPD e a redução das doses de fósforo e de potássio

nas adubações de manutenção, sem comprometer as produções, é bastante lento, podendo levar 5 ou mais anos.

Assim, algumas recomendações de ordem prática, para se aumentar a eficiência das adubações de manutenção com fósforo e potássio no SPD são apresentadas a seguir:

(1) Durante a fase inicial de implantação do SPD, nas primeiras 5 a 6 culturas adubadas, em solos com teor muito baixo de fósforo e que não receberam adubação fosfatada corretiva total a lanço, é recomendável aumentar a adubação fosfatada de plantio, no sulco, em 30 a 40%, para alcançar, já nos primeiros anos, tetos de produção próximos à produtividade máxima econômica, realizando, assim, a adubação fosfatada corretiva gradual.

(2) Durante a fase intermediária, ou seja, aquela em que o teor de fósforo no solo atingiu, provavelmente, o nível médio, as adubações fosfatadas de manutenção seriam as encontradas nas tabelas das recomendações oficiais por estado ou regiões para o sistema convencional.

(3) Durante as fases inicial (1) e intermediária (2) de implantação do SPD, os fertilizantes fosfatados devem ser aplicados no sulco, calculando-se a dose de fertilizante com base no teor de fósforo solúvel em água, citrato neutro de amônio + água, ou ácido cítrico a 2% na relação 1/100, conforme prescreve a legislação para os diversos tipos de fertilizantes fosfatados.

(4) Para lavouras manejadas sob SPD e que já apresentam os benefícios desse sistema em termos de acúmulo de palha, estruturação do perfil do solo e teores de P e de K considerados altos (> que 1,5 a 2 vezes o teor alto) na camada de 0 a 10 cm, a aplicação de doses de reposição de P e K poderia ser feita proporcionalmente às exportações dos grãos ou da forragem (Tabela 42) (Wiethölter, 2002a). Na prática, poder-se-ia aplicar 10 kg de P_2O_5 /t de grãos (exceto soja e arroz) e 7,5 kg K_2O /t de grãos (exceto arroz, sorgo, feijão e soja) e, para rendimentos médios, as doses que seriam estimadas com base na Tabela 42 são bastante semelhantes às atualmente recomendadas como adubação de reposição. Durante essa fase, os fertilizantes fosfatados podem ser aplicados tanto no sulco como a lanço.

Tabela 42. Teores médios de N, P₂O₅ e K₂O em grãos (usar quando P e K no solo for ≥ 1,5 vezes o teor alto). Fonte: Wiethölter (2002a).

Espécie	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- kg/t de grãos -----		
Trigo	21	10,0	5,3
Cevada	20	10,0	6,1
Aveia	20	7,2	5,3
Triticale	20	7,9	5,1
Centeio	20	9,4	5,4
Milho	16	8,2	6,0
Sorgo	15	8,1	4,2
Arroz	14	5,4	2,9
Feijão	50	10,0	15,0
Soja	60	15,0	20,0

(5) Na tomada de decisão sobre doses de P₂O₅ e de K₂O, tanto no SPD como no sistema convencional, é também importante conhecer a capacidade tampão do solo em P e K. A capacidade tampão representa a quantidade de P₂O₅ ou K₂O que necessita ser adicionada na forma de fertilizante para se aumentar 1 mg/dm³ o teor da análise de solo para esses elementos. Os dados nas Tabelas 43 e 44 são médios e foram derivados de vários trabalhos por Wiethölter (2000c). O autor enfatiza que as quantidades indicadas referem-se à situação em que o fertilizante é misturado ao solo na camada de 0 a 17 cm, algo que não ocorre de imediato no sistema plantio direto. Ao longo do tempo de uso do plantio direto, pode-se esperar que o P e o K aplicado na superfície do solo ou na linha de semeadura venham ser incorporados até cerca de 8 a 10 cm, através do leve preparo do solo que ocorre em cada semeadura, através da lixiviação (muito pequena para P) e deposição dos nutrientes contidos nas raízes. Dessa forma, as quantidades de P₂O₅ e de K₂O indicadas nas tabelas 43 e 44 poderiam ser divididas por dois para terem o efeito indicado, já que os fertilizantes serão incorporados em metade do volume de solo (Wiethölter, 2000c).

Tabela 43. Estimativa da capacidade tampão de P em função do teor de argila do solo – RS/SC. Fonte: Wiethölter (2000c).

Argila	Nível muito baixo de P	Nível de suficiência de P	Capacidade tampão ⁽¹⁾
(%)	----- mg P/dm ³ -----	-----	(kg P ₂ O ₅ /ha)/(mg/dm ³ de P)
> 55	2	6	30
41-55	3	9	20
26-40	4	12	15
11-25	6	18	10
≤10	8	24	7,5

⁽¹⁾ Camada de 17 a 20 cm; método de Mehlich-1.

Tabela 44. Estimativa da capacidade tampão de K em função do teor de argila – solos do Planalto do Rio Grande do Sul. Fonte: Wiethölter (2000c).

Argila	Nível muito baixo de K	Nível de suficiência de K	Capacidade tampão ⁽¹⁾
(%)	----- mg K/dm ³ -----	-----	(kg K ₂ O/ha)/(mg/dm ³ de K)
60	20	60	3,1
50	20	60	2,8
40	20	60	2,6
30	20	60	2,4
20	20	60	2,2
Média	-	-	2,6

⁽¹⁾ Camada de 17 a 20 cm; método de Mehlich 1. O valor depende também, do tipo de argilo-mineral predominante no solo.

(6) As estimativas da capacidade tampão de P e K mostradas nas Tabelas 43 e 44 foram desenvolvidas para as condições de solos do Rio Grande do Sul, não sendo recomendável a sua extrapolação direta para outras regiões do Brasil, principalmente aquelas formadas por solos em que a fração argila é dominada por argilas de baixa atividade (caulinita e óxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio). Porém, considerando os dados das tabelas de adubação corretiva usados nos diversos Estados, verificar-se-á que valores semelhantes de capacidade tampão são obtidos.

(7) Deve ser considerado, ainda, que a recuperação de P e de K do fertilizante pelas culturas é baixa no primeiro cultivo após a sua aplicação, em razão do reduzido contato do sistema radicular com o volume total do solo, exigindo, portanto, que o processo de difusão de P à superfície das raízes seja estabelecido. No caso do P, a absorção do elemento do fertilizante, pelas plantas, geralmente é menor que 15% na primeira cultura e é menor ainda nas culturas subseqüentes. Porém, dado o devido tempo, a maior parte do P aplicado pode ser recuperado pelas plantas. Em geral, considera-se que a eficiência de recuperação de P aplicado pelas plantas, é equivalente a cerca de $\frac{1}{4}$ da eficiência de recuperação de N (50 a 70%). Mas, isso é muito dependente do teor de P no solo, pois, no caso dos dados de Singh et al. (1966), constantes na Tabela 18, as plantas de milho absorveram mais de 30% do P contido no fertilizante. Depende também muito do método de aplicação do fertilizante ao solo (Westerman et al., 2000). É por essa razão que a maioria dos estudos com P são voltados à maximização da resposta a P e à busca de um crescimento inicial rápido das plantas, e, para isso, as fontes de P solúveis em água são mais adequadas. No caso do K, por apresentar um pouco mais de mobilidade no solo que o P, mas menor que a de N, sua recuperação dos fertilizantes pelas plantas é intermediária entre o P e o N (Parish, 1993).

4.5. Adubação com enxofre e micronutrientes

Poucos trabalhos de pesquisa no Brasil envolvendo estudos de longa duração para calibração de dados de análise de solo e de análise tecido foliar existem para enxofre e micronutrientes. Igualmente as poucas estimativas de respostas à adubação com enxofre e micronutrientes, foram feitas sob sistema de preparo convencional.

Um aspecto importante a se considerar na interpretação agrônômica do teor de enxofre no solo é o fato de ele ser geralmente menor na camada superficial que nas demais camadas do solo. A razão para esse fato reside na competição entre os ânions H_2PO_4^- e SO_4^{2-} pelos mesmos sítios de adsorção e, como os solos são mais adubados com adubos fosfatados, o SO_4^{2-} acaba sendo lixiviado para camadas subsuperficiais. Por isso, às vezes, na fase inicial de desenvolvimento, as plantas podem

apresentar deficiência de enxofre mas quando as raízes atingem a camada subsuperficial os sintomas de deficiência de enxofre desaparecem.

Sob SPD, é de se esperar que ocorram variações em relação à dinâmica de enxofre pois, com o não revolvimento do solo, a tendência é o enxofre solúvel migrar para a camada subsuperficial.

Alguns pontos básicos sobre a dinâmica de enxofre e micronutrientes no solo devem ser levados em conta para proporcionar maior eficiência desses nutrientes, no sentido de se atingir a produtividade máxima econômica:

1) A tomada de decisão sobre fontes, doses e métodos de aplicação de enxofre e micronutrientes no SPD deve levar em conta os seguintes procedimentos de diagnose: a) análise do solo; b) análise foliar; c) observância de sintomas visuais de deficiência ou de toxidez; d) fatores químicos do solo que afetam a disponibilidade e e) histórico de cultivo da área.

2) A utilização de rotação e/ou seqüência de culturas no SPD que incluam espécies de grande desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e com grande aporte de palha pode contribuir de maneira significativa para uma considerável reciclagem de enxofre e de micronutrientes para as camadas superficiais do solo.

3) Como o pH ideal para a produção de culturas sob SPD é cerca de meia unidade mais baixa do que no sistema convencional, é de se esperar maior disponibilidade de zinco, cobre, ferro, manganês e boro e uma intensificação das deficiências de molibdênio nos SPD já estabilizados e que não receberam calagem recentemente.

4) Com o passar dos anos de implementação do SPD e o conseqüente aumento no teor de matéria orgânica, pode haver a formação de complexos organo-metálicos estáveis, principalmente com cobre, diminuindo a disponibilidade para as culturas.

5) Em áreas de SPD que receberam calagem de manutenção, mesmo com doses pequenas, deve-se evitar a aplicação de micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e boro) a lanço, pois a elevação do pH que ocorre nos primeiros centímetros da superfície do solo pode fazer com que haja diminuição da disponibilidade desses nutrientes. Havendo deficiência, a aplicação deve ser feita no sulco de semeadura.

6) Para se evitar a segregação de produtos, nas aplicações de micronutrientes na forma sólida via solo, deve-se dar preferência aos fertilizantes NPK granulados e misturas granuladas de modo que cada grânulo contenha os micronutrientes. Quando forem utilizados micronutrientes granulados em misturas de grânulos NPK, onde cada nutriente está em grânulos separados, é importante levar em conta dois pontos: 1) que os micronutrientes granulados tenham pelo menos 40% de solubilidade em água; e, 2) que tanto os grânulos dos fertilizantes contendo N-P-K como contendo os micronutrientes, sejam de tamanho semelhante.

7) Conforme já indicado acima, o maior acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo sob SPD pode resultar em maior transporte de sulfato pela água de percolação para camadas mais profundas do solo, já que as formas aniônicas desses dois nutrientes competem pelos mesmos sítios de ligação com os colóides. Além disso, a melhor drenagem de solos sob SPD pode resultar em maior lixiviação de sulfato, que tende a permanecer mais em solução no volume de solo rico em P.

8) Nos cinco primeiros anos de implantação do SPD, é provável que seja necessário uma aplicação maior de S, principalmente em solos muito deficientes, em função desse nutriente, assim como ocorre com o N, estar sendo usado como componente da matéria orgânica nova, pois a matéria orgânica contém cerca de 0,5% de enxofre.

9) É bastante provável que, em áreas com mais de 6 anos de adoção do SPD, onde já ocorreu acúmulo expressivo de matéria orgânica no solo, os níveis críticos de S disponível para as plantas, que se situam na faixa de 5-10 mg/dm³ em solos sob SPC, sejam menores em áreas sob

SPD, em função do aumento da matéria orgânica do solo resultar em maior ciclagem de S no solo e em uso mais eficiente desse nutriente pelas plantas.

4.6. A importância da cobertura do solo

Um dos aspectos mais importantes para se alcançar sucesso no SPD é a formação de uma contínua cobertura vegetal, viva ou morta, que seja capaz de minimizar o processo erosivo, que leve a uma maior retenção de água no solo e que promova uma maior disponibilização de nutrientes. Segundo Oliveira et al. (2002), essas metas são atingidas mediante a adoção de um sistema de rotação de culturas que não siga apenas uma alternância aleatória de espécies, mas de uma seqüência racional de culturas, considerando suas exigências edafo-climáticas, seus efeitos benéficos ao solo e eficiência no controle de doenças e pragas. Além de apropriada, essa seqüência de culturas deve oferecer praticidade à sua adoção e promover efeitos benéficos às culturas subseqüentes, bem como ganhos econômicos. O autor ressalta, ainda, que dentre as diversas características desejáveis para seleção de plantas de cobertura do solo, destacam-se a produção de fitomassa e a quantidade de nitrogênio acumulada, seja pela fixação de N_2 atmosférico, seja pela reciclagem de N no sistema.

A região sul, berço do SPD no Brasil, é a que apresenta maior número de opções de plantas de cobertura e onde as características, vantagens e desvantagens das espécies e combinações de espécies têm sido estudadas e avaliadas mais profundamente.

Uma síntese da composição de plantas de cobertura (matéria seca, nitrogênio acumulado e relação C/N) elaborada por Oliveira et al. (2002) e Aita et al. (2000), a partir de dados publicados em diversos trabalhos realizados na região sul do país, é apresentada nas Tabelas 45 e 46. As leguminosas de primavera/verão geralmente produzem maiores quantidades de fitomassa e, conseqüentemente, acumulam maiores quantidades de nitrogênio, quando comparadas com leguminosas de outono/inverno. Por outro lado, apresentam a desvantagem de competirem por área com culturas comerciais, constituindo-se na principal limitação para sua utilização. Para a região do Cerrado, que apresenta outono e inverno secos, existem outras opções de plantas de cobertura que estão sendo avaliadas para utilização nesse período (Tabela 47, Carlos Spehar,

comunicação pessoal). A importância da inclusão dessas espécies está no fato de os sistemas radiculares de amaranto, kenaf, quinoa e guandu apresentarem raízes vigorosas, pivotantes - típico de dicotiledôneas, em contraste com as gramíneas, que apresentam raízes fasciculadas. A alternância de espécies ou mesmo o seu consórcio, conduz à exploração diferenciada do perfil do solo, colonizando-o em diferentes profundidades. Assim, o aporte de matéria orgânica, via raízes, contribui para estruturar o solo e diminuir adensamentos. A relação C/N dessas espécies é, aproximadamente, decrescente nessa ordem: gramíneas (milho, sorgo, milheto, eleusine), kenaf > quinoa, amaranto > guandu, gergelim > girassol > soja.

Tabela 45. Rendimento de matéria seca, nitrogênio acumulado e relação C/N da parte aérea de diversas plantas de cobertura do solo. Fonte: Médias compiladas de diversos autores por Oliveira et al. (2002).

Planta de cobertura	Matéria seca	Nitrogênio acumulado	Relação C/N
----- kg/ha -----			
Espécies de outono/inverno			
Leguminosas			
Chicarro	3.267	91	16
Ervilhaca comum	3.259	86	16
Tremoço-azul	4.890	111	15
Ervilha forrageira	3.154	79	16
Não-leguminosas			
Aveia preta	4.726	55	43
Nabo forrageiro	4.379	101	18
Gorga	4.272	62	-
Vegetação espontânea	1.698	29	27
Espécies de primavera/verão			
Leguminosas			
<i>Crotalaria juncea</i>	10.522	189	28
Feijão-de-porco	5.527	150	17
Grandu anão	4.807	103	23
<i>Crotalaria spectabilis</i>	6.000	137	20
Mucuna-cinza	7.243	179	21
Mucuna-preta	7.062	161	23
Vegetação espontânea	3.798	31	47
Consórcio			
Aveia + ervilhaca	5.970	99	24

Tabela 46. Quantidades de P, K, Ca e Mg acumuladas pela parte aérea de algumas das leguminosas de verão com maior potencial para inclusão em sistemas de culturas. Resultados médios obtidos em diferentes condições edafoclimáticas. Fonte: Adaptado de Aita et al. (2002), citando dados de vários autores.

Espécie	Nutrientes			
	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	----- kg/ha -----			
Crotalárea juncea	13,5	130,0	74,5	33,0
Crotalárea spectabilis	12,0	157,3	70,8	23,4
Grandu anão	10,6	73,3	34,6	13,3
Feijão-de-porco	11,0	195,4	75,3	19,2
Mucuna cinza	13,6	90,3	53,7	20,8
Mucuna preta	13,8	102,7	75,5	18,7

Tabela 47. Alternativas de algumas plantas de cobertura recomendadas para a região dos cerrados. Fonte: Carlos Spehar, Embrapa-CPAC, comunicação pessoal.

Espécie	Matéria ⁽¹⁾		Maturação ⁽²⁾	Peso de 1000 sementes	Rendimento ⁽¹⁾
	Verde	Seca			
	----- t/ha -----		dias	g	t/ha
Amaranto	18 a 25	5 a 12	90 a 100	0,60 a 1,0	3 a 5
Quinoa	12 a 17	5 a 11	80 a 150	1,5 a 2,5	3 a 5
Guandu	25	8,5	150 a 320	120 a 210	2 a 3
Girassol	15 a 30	5 a 15	90 a 130	30 a 60	2 a 3
Milheto	37 a 45	12 a 15	100 a 120	10 a 15	2 a 3
Sorgo	19	6,5	100 a 120	20	2 a 4
Kenaf	13 a 25	6 a 14	130 a 160	10	0,7
Gergelim	10 a 15	5 a 8	120 a 140	10 a 15	1,2
Eleusine	8 a 14	3 a 9	100 a 130	25 a 30	2,3

⁽¹⁾ Cultivo em ausência de estresse hídrico; ⁽²⁾ Ciclo obtido na época recomendada.

5. Considerações finais

Na última década houve grande expansão do sistema plantio direto (SPD) em diferentes regiões do território brasileiro. Adotado inicialmente nos Estados do Sul atualmente está presente nas principais regiões de produção de grãos ocupando 8 milhões de hectares no

Cerrado e mais de 20 milhões no país. A principal vantagem econômica e ambiental do sistema é a reduzida perda de solo por erosão. Já o principal requisito do sistema é a rotação de culturas.

A diminuição da erosão do solo implica em maior preservação da matéria orgânica e em menores perdas de nutrientes do sistema solo-planta. Um outro aspecto importante é o gradual aumento dos estoques de matéria orgânica em áreas sob SPD. Há casos em que os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo são o dobro em relação àqueles verificados em áreas onde o solo é arado e gradeado, e onde os restos culturais são queimados ou incorporados. Em solos tropicais, esse aumento do teor de matéria orgânica tem conseqüências importantes, pois, associado a ele, há um aumento na capacidade de adsorção de nutrientes. Além disso, há um aumento na capacidade do solo em armazenar água, havendo assim uma maior chance das plantas aproveitarem mais os nutrientes adicionados ao solo via fertilizantes.

Esses benefícios resultantes da adoção do SPD sobre a fertilidade do solo tendem a proporcionar maior eficiência de uso de fertilizantes pelas culturas. O caso do manejo dos adubos fosfatados é emblemático, uma vez que em áreas de SPD já consolidadas há uma menor retenção de P pelos colóides minerais e uma maior participação do P orgânico no P total, havendo uma perspectiva de se usar uma menor quantidade P para se obter produtividade similar à verificada em áreas onde o solo é revolvido. Isso pode ser explicado pela menor taxa de decomposição de resíduos culturais e maior acúmulo de matéria orgânica, podendo o solo atuar mais como fonte (suprimento às plantas) e menos como dreno (fixação) de P.

No Brasil, a expansão da área sob SPD foi acompanhada por uma contínua oferta de informações associadas ao manejo da fertilidade do solo nessas áreas. Contudo, existem muitas demandas de pesquisa que necessitam ser atendidas. Apesar dos avanços já alcançados, é preciso que, em áreas sob SPD, novos esforços sejam feitos no sentido de elucidar aspectos ligados à eficiência agronômica de fosfatos naturais

reativos e de baixa reatividade, à dinâmica de enxofre e micronutrientes e à amostragem de solo, no sentido de representar as variabilidades horizontal e vertical verificadas nos atributos de fertilidade de solo não revolvido.

Do mesmo modo, torna-se importante entender melhor quais são os mecanismos envolvidos na movimentação de calcário em solo sob SPD em relação aos solos sob cultivo convencional. O manejo da calagem em áreas sob SPD necessita de mais estudos, cabendo averiguar o método de cálculo da necessidade de calagem, os níveis críticos de saturação por bases em áreas com maior acúmulo de matéria orgânica no solo, o papel da matéria orgânica em complexar o Al e os efeitos de gesso em solos sob SPD de diferentes regiões brasileiras.

Cabe ainda averiguar as conseqüências de se adotarem diferentes esquemas de rotação ou sucessão de culturas sobre o manejo da fertilidade do solo, uma vez que diferentes tipos de plantas resultam, com o decorrer dos anos sob SPD, em diferentes variações em relação a diversos atributos ligados à fertilidade do solo.

Em relação ao manejo da adubação nitrogenada, torna-se necessário testar práticas de manejo que permitam utilizar a uréia com maior eficiência em áreas sob SPD. Nessa mesma linha, é importante avaliar o potencial de suprimento e os modos mais eficientes de utilizar o N fixado pelos adubos verdes usados em esquemas de rotação de culturas nas diversas regiões brasileiras. A possibilidade dos fertilizantes serem usados de modo mais eficiente nas lavouras sob SPD permite o emprego de doses menores de P e K para obtenção de rendimentos iguais aos obtidos no sistema convencional de preparo do solo. Assim, faz-se necessário averiguar se as tabelas de adubação adotadas atualmente se aplicam aos solos sob SPD e aos novos tetos de produtividade.

O papel das instituições ligadas à pesquisa em contribuir para elucidar essas questões é de relevância, o mesmo ocorrendo com as instituições responsáveis pela elaboração de políticas públicas que

devem contribuir no sentido de acelerar a expansão da área sob SPD, já que esse sistema preserva os mananciais de água, permite o uso mais eficiente de fontes não renováveis de nutrientes para as plantas e possibilita maior armazenamento de C no solo, melhorando, assim, a qualidade do solo.

O SPD é uma das principais conquistas da agricultura brasileira nos últimos tempos, justificando um contínuo esforço das instituições de ensino e órgãos de extensão no sentido de aperfeiçoá-lo e de disponibilizar aos técnicos e aos agricultores os resultados de pesquisa já obtidos para alcançar-se produtividade máxima econômica nesse sistema.

Por último, é necessário, ainda, que esses efeitos benéficos do SPD sobre os recursos naturais sejam compensados por meio de incentivos aos agricultores nas frentes de expansão da agricultura, tornando o Brasil um grande produtor mundial de alimentos, mediante um sistema ecologicamente adequado.

6. Literatura consultada

AITA, C.; FRIES, M.R.; GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2000, Santa Maria. Fertbio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6)

ALVAREZ, V., V.H; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A.C.; SOUZA, R.B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.67-78.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.26, n.1, p.241-248, 2002.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo e as recomendações de adubação no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 5p. (CD-ROM).

ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Predicting the most efficient phosphorus placement in corn. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 44, n.5, p.1016-1020, 1980.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Pedro: POTAFOS, 2003. 23p. (CD-ROM).

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (ed.). Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: SBCS-NRS, 1998. p.27-52.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas: NRS-SBCS, 2000. p.41-59.

ANGHINONI, I.; SCHLINDWEIN, J.A.; NICOLODI, M. Amostragem do solo no sistema plantio direto. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5., 2002, Guarapuava. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2002. p.97-105.

BARBER, S.A. Chemistry of soil-nutrient interactions and future agricultural sustainability. In: HUANG, P.M.; SPARKS, D.L.; BOYD, S.A. Future prospects for soil chemistry. Madison: SSSA, 1998. p.179-189. (SSSA Special Publication number 55).

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.24, n.4, p.905-915, 2000.

CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.21, n.3, p.489-496, 1997.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e respostas ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J. CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. 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. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. *Bragantia*, Campinas, v.57, p.175-184, 1998.

CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2000, Santa Maria. Fertbio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.A. Laboratory method to estimate the efficiency of plant extract to neutralize soil acidity. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999. Resumos... Temuco: SLACS/UF/SAC/SCS, 1999. p.361.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.26, n.1, p.163-171, 2002.

CERVI, E.U. A revolução da palha. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, n.73, p.8-12, 2003.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.19, n.5, p.573-582, 1984.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Rendimento de milho no Brasil: Chegamos ao Máximo. Trabalho apresentado no III Simpósio de Rotação Soja/Milho no Plantio Direto, Piracicaba, SP 10 a 12 de julho de 2002. 32p. (mimeo.).

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.de; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A. de A. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um Latossolo Vermelho Escuro fase cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.15, n.2, p.187-193, 1991.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2. ed. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/NRS-SBCS. 1989. 128p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3ª ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1995. 223p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª aproximação, Lavras, 1989. 179p.

EHLERS, W.; CLAUPEIN, W. Approaches toward conservation tillage in Germany. In: CARTER, M.R. Conservation tillage in temperate agroecosystems. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992. p.141-165.

FERNANDES, R.N.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; ANDRADE, J.A.C.; AGUIAR, E.C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho (*Zea mays* L.). XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 1 a 5/09/2002, Florianópolis, SC. Resumos. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 516 p. CD-ROM.

FRANCHINI, J.C; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.23, n.3, p.533-542, 1999.

FRANÇA, G.E. de; COELHO, A.M.; BAHIA FILHO, A.F.C. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em dois latossolos cultivados com milho sob irrigação. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21, 1994. Petrolina: SBCS, 1994. p.93-95.

FREIRE, F.M.; VASCONCELLOS, C.A.; FRANÇA, G.E. de. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.49-62, 2000.

GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob cerrado. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.18, n.2, p.229-233, 1994.

GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob cerrado. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.20, n.2, p.283-289, 1996.

GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de cobre e avaliação da disponibilidade para a soja num Latossolo Vermelho-Amarelo franco-argilo-arenoso, fase cerrado. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.23, n.2, p.265-272, 1999.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMANN, G.C.; SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.43, p.1155-1158, 1979.

GUERRA, J.G.M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* STAPF., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Rio de Janeiro, 1993. 234p. (Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro).

HERBES, M.G.; PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; SILVEIRA, M.; VIEIRA, F.C.B.; FLECHA, A.M.T. de. Adubação nitrogenada para as culturas de aveia preta e milho, no sistema plantio direto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000). Santa Maria: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2000. 3p. (CD-ROM).

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (NRS-SBCS. Boletim Técnico, 3).

KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-469.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. Trends in Agricultural Science, v.1, p.11-115, 1993.

KOCHHANN, R.A. Avaliação da eficiência da adubação fosfatada em plantio direto. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1991. 39p. (EMBRAPA-PNPTrigo. Projeto 004.84.001/3).

KURAMOTO, C.M.; FERNANDES, F.M.; MELLO, L.M.M. de. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000), Santa Maria. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 3p. (CD-ROM).

LERA, F.L.; CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, J.C.V.N.; LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Absorção pelo milho do nitrogênio aplicado antecipado ou em cobertura, em sistema de plantio direto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000), Santa Maria. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 3p. (CD-ROM).

LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K.; CERVELINI, A. The fate of urea applied to tropical bean (*Phaseolus vulgaris*, L) crops. In: Workshop on nitrogen cycling in ecosystems of America and Caribe. Cali, 1981. Workshop... Cali, 1981. p.55-63.

LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 162p. 1983.

LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. Encontro Técnico Sobre Gesso Agrícola. Belo Horizonte: Fosfértil/Petrofértil. 1986. 58p. (mimeo).

LOPES, A.S. e GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo: ANDA, 1994. 62p. (Boletim Técnico, 5).

LOPES, A.S. Micronutrientes: Filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999a. 72p. (Boletim Técnico, 8).

LOPES, A.S. Recomendações de calagem e adubação no sistema plantio direto. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H.; ed. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999b. p.93-98.

MELLO, A.A.V. Jr.; COELHO A.A.M. e ALBUQUERQUE, P.E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação de N em latossolo cultivado com trigo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21, 1994, Petrolina, PE. SBCS, 1994, p.275-277.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.E.; BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 38p. (Boletim Técnico, 2).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.17, n.3, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e FRANCHINI, J.C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. Anais. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82-94.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. POTAFOS, Informações Agrônômicas (Encarte Técnico), Piracicaba, n.92, p.1-8, dezembro 2000.

MORTVEDT J.J. e COX, F.R. Production, marketing and use of calcium, magnesium and micronutrient fertilizers. In: ENGELSTAD, O.P. (ed.) Fertilizer technology and use, 3rd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1985. p. 455-481

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, 1983.

NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agronômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.18, n.1, p.55-62, 1994.

NICOLODI, M. ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Alternativa à coleta de uma secção transversal, com pá de corte, na largura da entrelinha, na amostragem do solo em lavouras com adubação na linha no sistema plantio direto. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v.69, p.22-28, 2002.

NOVAIS, R.F. e SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, E.J.; PARRA, M.S. e COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.21, n.1, p.65-70, 1997.

OLIVEIRA, E.L. e PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. Soil Til. Res., v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. e BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v. 2, p.393-486, 2002.

PARISH, D.H. Agricultural productivity, sustainability, and fertilizer use. Muscle Shoals: International Fertilizer Development Center, 1993. 21p.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. R. Bras. Frutic., v.16, p.86-91, 1994.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. e PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., v.48, p.33-38, 1984.

PAVAN, M.A. e ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. *Ci. Cult.*, v.44, p.391-394, 1992.

PERUZZO, G. e WIETHÖLTER, S. Avaliação agronômica dos fosfatos naturais de Arad, de Daoui e de Gafsa em relação ao superfosfato triplo In: XVIII REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 1999, Passo Fundo, RS. Anais da XVIII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. v.2. p.705 - 709.

PÖTTKER, D.; AMBROSI, I.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A. e DENARDIN, J.E. Calagem plantio direto. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/Projeto METAS, 1998. 40p. (Projeto METAS. Boletim Técnico, 4).

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Efeito da época e do modo de aplicação de nitrogênio na cultura do milho cultivado sob sistema plantio direto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2002 (Fertbio 2002), Rio de Janeiro, RJ. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. (CD-ROM).

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. e MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. e FURLANI, P.R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.12, n.2, p.131-136, 1988.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. e URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: International Atomic Energy Agency. *Agrochemicals: fate in food environment*. Vienna, 1982. p.277-290.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de cerrado. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21. 1994, Petrolina, PE. Anais.... Petrolina: SBCS/EMBRAPA-CPATSA. 1994. p.38-40.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25, 1997, Passo Fundo. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1997/98. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 130p.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. e SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.22, n.4, p.713-721, 1998.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agronomy Journal, Madison, v.72, n.1, p.40-44, 1980.

ROLAS. Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Trigo e Soja, Porto Alegre, v.56, p.4-34, 1981.

SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro, PR: Fundação ABC, 1993. 96p.

SÁ, J.C. de M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SÁ, J.C. de M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. Anais... Castro: Fundação ABC, 1995. p.9-20.

SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E. e CARVALHO, J.G. (eds.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS, 1999. p.267-319.

SALET, R.L. Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 117p. (Tese de Doutorado).

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; ALMEIDA, M.L.; GRACIETTI, M.A.; BIANCHET, P. O método de preparo do solo altera a época preferencial de aplicação de nitrogênio na cultura do milho? XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 1 a 5/09/2002, Florianópolis, SC. Resumos. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. (CD-ROM).

SCHLINDWEIN, J.A. Variabilidade da fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 1999. 110p. (Tese de Mestrado).

SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Soil Till. Res.*, v.44, p.23-34, 1997.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.9, n.3, p.249-254, 1985.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, M.J. Comportamento de um Latossolo Roxo distrófico compactado pelas rodas do trator na semeadura. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.19, n.10, p.1285-1293, 1984.

SILVA, E.C. da; BUZETTI, S. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema plantio direto em solo de cerrado. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000), Santa Maria, RS. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 3p. (CD-ROM).

SINGH, T.A.; THOMAS, G.W.; MOSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage and conventional practices. *Agronomy Journal*, Madison, v.58, n.2, 147-148, 1966.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.

SOUSA, D.M.G. Calagem e adubação da soja no cerrado. Porto Alegre, DEAGRO/ADUBOS TREVO S/A, 1989. 17p.

SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

SOUSA, D.M.G. e REIN, T.A.; LOBATO, E. e RITCHEY, D. Sugestões para diagnose e recomendações de gesso em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba, MG. Anais... São Paulo: IBRAFOS. 1992. p.138-158.

SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2000, Santa Maria. Fertbio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

STEVENSON, F.J. Cycles of soil. New York: Wiley-Interscience Publication, 1986. 380p.

SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. e VARGAS, M.A.T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. P.167-202.

SUMNER, M.E. e PAVAN, M.A. Alleviating soil acidity through organic matter management. In: ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000, Piracicaba. Anais... Piracicaba: POTAFOS, 2000. CD-ROM.

TESSARO, L.C.; PAULETTI, V. MARQUES, R.; BORTOLETO, S. Efeito de formas de aplicação e fontes de nitrogênio na cultura do milho em solo arenoso, sob plantio direto. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000), Santa Maria, RS. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 3p. (CD-ROM).

THOMAS, G.W. Mineral nutrition and fertilizer placement. In: SPRAGUE, M.A. e TRIPLETT, G.B. No-tillage and surface-tillage agriculture; the tillage revolution. New York: John Wiley, 1986. p.1-18.

URQUIAGA, S.C. Dinâmica de nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L), cultivar carioca. Piracicaba: ESALQ-USP, 1982.118p. (Tese de Doutorado).

WESTERMAN, R.L.; RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Nutrient and water use efficiency. In: SUMNER, M.E. (ed.). Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.D175-D189.

WIETHÖLTER, S.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (ed.). Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: SBCS-NRS, 1998. p.121-149.

WIETHÖLTER, S.; PERUZZO, G.; TOMM, G.O. Resposta a nitrogênio de trigo cultivado após soja e milho, em solos com diferentes teores de matéria orgânica, no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISAS DE TRIGO, 18, 1999, PASSO FUNDO, RS. Anais... Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999b. v.2, p.725-729.

WIETHÖLTER, S. Aplicação de nitrogênio em trigo e seu efeito residual no rendimento de milho e de soja no sistema plantio direto. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 3., Pelotas, RS, 2000a. 3p. (CD-ROM).

WIETHÖLTER, S. Calagem no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 2000b. 104p.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: Experiência nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, 2000 (Fertbio 2000), Santa Maria, RS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000c. 35p. (CD-ROM).

WIETHÖLTER, S. Revisão das recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Trabalho apresentado na IV Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre, RS, 14-16 de outubro de 2002. 2002a. 28p. (CD-ROM)

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. V Curso de Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Guarapuava, PR, 16 e 17 de julho de 2002. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2002b. p.14-53.

WIETHÖLTER, S. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. VI Curso de Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Ibirubá, RS, 22 a 23 de julho de 2003. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2003. p.64-95.

WIETHÖLTER, S. Recomendação de nitrogênio para trigo cultivado sob sistema plantio direto - RS/SC. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO (34.: 2002: Porto Alegre). Ata e resumos - 2002. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002c. p.16.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L.C.; HILLESHEIM, J. Adubação fosfatada e potássica da soja no cerrado. Piracicaba, POTAFOS, Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 98, p. 1-5, junho 2002.

ZIGLIO, C.M.; MIYAZAWA, M. e PAVAN, M.A. Formas orgânicas e inorgânicas do cálcio no solo. Braz. Arch. Biol. Technol., v. 42, p. 257-262, 1999.

7. Apêndice – Classes de solo utilizadas no texto, figuras e tabelas - nomenclatura anterior e atual.

Nomenclatura anterior	Nomenclatura atual
Cambissolo álico (C)	Cambissolo aluminico (Ca)
Cambissolo álico (Ca)	Cambissolo aluminico (Ca)
Cambissolo arenoso (Cb)	Cambissolo (C) textura arenosa
Cambissolo argilo-arenoso (Cb)	Cambissolo (C) textura argilo-arenosa
Latossolo Roxo (LR)	Latossolo Vermelho (LV)
Latossolo Vermelho-Amarelo arenoso (LV)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura arenosa
Latossolo Vermelho Amarelo argilo-arenoso (LV)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura argilo-arenosa
Latossolo Vermelho Amarelo argiloso (LV)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura argilosa
Latossolo VermelhoAmarelo (LV)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)
Latossolo Vermelho Escuro arenoso (LE)	Latossolo Vermelho (LV) textura arenosa
Latossolo Vermelho-Escuro argiloso (LE)	Latossolo Vermelho (LV) textura argilosa
Latossolo Vermelho Escuro distrófico arenoso (LE)	Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura arenosa
Rubrozém argiloso (Rb)	Alissolo Crômico (AC)
Terra Roxa Estruturada (TR)	Nitossolo Vermelho (NV)