

AMENIZAÇÃO DA ACIDEZ DE UM LATOSSOLO ARGILOSO POR EXTRATOS AQUOSOS DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

ACIDITY MITIGATION IN A CLAYEY OXISOL BY AQUO-EXTRACTS OF WINTER GREEN MANURE-COVER CROPS

Cimélio Bayer¹; Antônio Sérgio do Amaral²

Recebido em: 15/08/2003. Aprovado em: 31/03/2004.

RESUMO

Compostos orgânicos e cátions básicos lixiviados da palhada sobre o solo em plantio direto podem amenizar a acidez da camada superficial do solo e favorecer o desenvolvimento inicial da cultura em sucessão. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de extratos aquosos de aveia preta e nabo forrageiro, isolados ou em combinação com calcário, sobre os componentes da acidez de um Latossolo Vermelho argiloso. Os experimentos foram conduzidos em laboratório, sendo os tratamentos aplicados em colunas de solo de 45 cm de altura, dispostas segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os extratos promoveram aumento do pH e da saturação por bases, e diminuição da saturação por Al, em profundidades variadas, mas com efeito restrito à camada de 0-7,5 cm. O efeito do calcário (4 Mg ha⁻¹) aplicado isoladamente sobre os componentes da acidez restringiu-se à camada de 0-5 cm. Quando associado aos extratos aquosos, o efeito do corretivo estendeu-se à camada de 0-10 cm, o que se deveu à diminuição dos teores de Al trocável e elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis em sub-superfície. O extrato aquoso de nabo forrageiro foi mais efetivo do que o de aveia preta.

PALAVRAS-CHAVE: *Avena strigosa*, *Raphanus raphanistrum*, pH, saturação por bases, plantio direto.

SUMMARY

Organic compounds and inorganic ions leached from plant residues on no-tillage soils can mitigate the soil surface acidity, with benefits on the initial development of the crop that follow in sequence. The objective of this study was to evaluate the effect of aquo-extracts

of black oat and wild radish, alone or combined with lime (4 Mg ha⁻¹), on the acidity components of an acid clayey Oxisol. Two laboratory experiments were carried out. The treatments were applied on the top of 45 cm soil columns, according to a totally randomized experimental design, with three replicates. The aquo-extracts increased the soil pH and bases saturation, and decreased Al saturation of soil depths below 7.5 cm. The lime alone decreased soil acidity in the top 5 cm layer. The application of aquo-extracts in addition to lime had synergic effect on the acidity control in the 0-10 cm soil layer, which was related to the decrease of the exchangeable Al and to the increase of the exchangeable Ca and Mg in sub-surface soil layers. The aquo-extract of wild radish was more effective in to mitigate soil acidity than black oat extract.

KEY WORDS: *Avena strigosa*, *Raphanus raphanistrum*, pH, bases saturation, no-tillage.

INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais e subtropicais, a cobertura do solo por plantas ou seus resíduos é crucial ao desenvolvimento de uma agricultura sustentável (LAL, 1976; SANCHEZ, 1976). Esse fundamento do manejo conservacionista de solo pode ser alcançado pela adoção de sistemas sem revolvimento (plantio direto) ou mínima mobilização do solo (cultivo mínimo), associados a sistemas de rotação de culturas com alto aporte de resíduos à superfície do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

A adoção do sistema plantio direto teve um aumento em área cultivada na última década, sendo utilizado, na safra 1999/2000, numa área aproximada de 14 milhões de hectares (DERPSCH, 2000). Como regra geral, solos em plantio direto apresentam aumento

¹ Eng. Agr., Dr. Professor do Departamento de Solos da UFRGS, C. P. 15100, 90001-970, Porto Alegre, RS. E-mail Autor: cimelio.bayer@ufrgs.br

² Eng. Agr., Dr., Professor da Universidade Regional Integrada (URI)-Campus Erechim, Erechim, RS.

dos estoques de matéria orgânica, da capacidade de retenção de cátions e da concentração de nutrientes, da atividade dos microrganismos e de suas enzimas, da estabilidade de agregados (BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001; VARGAS e SCHOLLES, 2000; SILVA e MIELNICZUK, 1998), além do seu efeito no controle da erosão hídrica (CASSOL, 1984).

Um aspecto bastante importante no manejo de solos em plantio direto é a sua associação com um sistema de rotação de culturas diversificado. Atualmente, considera-se que a condição ideal é que o solo tenha sempre uma cultura se desenvolvendo, o que determinará um alto fluxo de C e energia no sistema solo-planta-atmosfera, o que é bastante favorável à qualidade física, química e biológica do solo (VEZZANI, 2002). Também é importante a inclusão de espécies leguminosas como plantas de cobertura do solo, as quais contribuem com o N fixado simbioticamente e apresentam um alto aporte de resíduos vegetais ao solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e a disponibilidade de N para as culturas comerciais (MIELNICZUK et al., 2003).

Recentemente, as plantas de cobertura têm recebido uma atenção adicional em função da lixiviação de compostos orgânicos hidrossolúveis da sua palhada que, em última análise, são ácidos orgânicos de baixo peso molecular (FRANCHINI et al., 2001). Além de elevar o pH do solo pela protonação de grupos carboxílicos com pKa superior ao pH do solo, esses compostos possuem radicais funcionais com propriedades ligantes do tipo base de Lewis, que os torna capazes de formar complexos orgânicos com ácidos inorgânicos de Lewis como Al, Ca e Mg (PEARSON, 1966). Desta forma, além de neutralizarem o Al tóxico, esses compostos podem aumentar a mobilidade vertical dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície. Na forma complexada, metais divalentes como Ca Mg teriam sua carga líquida alterada, de 2^+ para 1^+ (CaL^+) ou zero (CaL^0), reduzindo a energia de ligação com o complexo d^2 troca, o que favorece o transporte desses cátions da superfície para o interior do solo (FRANCHINI et al., 2000; MIYAZAWA et al. 2000).

Nesse sentido, em plantio direto com sistema de rotação de culturas intensivo, a deposição localizada dos resíduos vegetais na superfície do solo pode determinar uma amenização da acidez da camada superficial do solo, estabelecendo um ambiente favorável ao desenvolvimento inicial da cultura em sucessão. Além disso, a lixiviação de compostos orgânicos

hidrossolúveis pode apresentar uma ação sinérgica com a calagem superficial no sistema plantio direto, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da acidez na sub-superfície do solo através da maior mobilidade vertical de Ca e Mg. Assim, espera-se que os efeitos da calagem superficial no perfil do solo sejam mais pronunciados quando o calcário é aplicado em sistemas de rotação de culturas com alto aporte de resíduos vegetais que propiciem a produção de ligantes orgânicos (FRANCHINI et al., 2000).

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de extratos aquosos de duas plantas de cobertura de inverno amplamente utilizadas no Sul do Brasil, a aveia preta e o nabo forrageiro, isolado ou em conjunto com a aplicação superficial de calcário, na amenização da acidez de um Latossolo Vermelho argiloso.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa consistiu em dois experimentos realizados, no ano de 2000, no Centro Agroveterinário da UDESC, em Lages, SC. Ambos experimentos foram realizados em laboratório e utilizaram amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho, coletadas no município de Lages. A análise química do solo (500 g/kg de argila) determinou valor de pH em água 4,62, saturação por Al (m) de 65% e saturação por bases (V) de 13%. As amostras de solo foram passadas em peneira de 2 mm e acondicionadas em tubos de PVC, com 10 cm de diâmetro e 45 cm de altura. Cada tubo foi construído, de cima para baixo, pela justaposição de quatro anéis com 2,5 cm de altura, três com 5,0 cm, e dois com 10 cm.

O primeiro experimento consistiu da adição isolada de extratos aquosos de aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*), além de um tratamento testemunha sem aplicação de extrato. Os extratos aquosos foram obtidos a partir da agitação durante 16 horas de uma suspensão de 25 g de matéria seca de tecido vegetal moído em dois litros de água destilada. Imediatamente após a agitação, a suspensão foi filtrada através de uma camada de 5 cm de algodão disposta sobre um funil de vidro sinterizado. Um volume total de 240 mL dos extratos foi adicionado gradativamente em cada tubo de PVC, o que equivaleu a uma quantidade aproximada de $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca das espécies. No tratamento testemunha aplicou-se um volume equivalente de água destilada.

No segundo experimento os extratos aquosos foram adicionados posteriormente à aplicação de 4 Mg ha⁻¹ (PRNT 100%) de calcário dolomítico do tipo Filler sobre o solo. Após a aplicação de calcário, o solo foi mantido úmido durante 10 dias de modo a permitir a solubilização do corretivo. Após esse período aplicaram-se os extratos na parte superior da coluna de solo, seguindo os mesmos procedimentos e doses referidas anteriormente para o primeiro experimento. Um tratamento adicional consistiu apenas da aplicação de calcário, no qual foi realizada a aplicação de 240 mL de água destilada.

Ambos experimentos seguiram um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Aos sete dias após a aplicação dos extratos aquosos, as colunas de solo foram seccionadas nas profundidades delimitadas pelos anéis, e o solo de cada uma das camadas foi seco em estufa a 60°C durante cinco dias, moído em moinho de bolas, e analisado em relação ao pH, Ca, Mg, K, Al e H+Al. O pH foi determinado em água (1:1); Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de KCl 1,0 M e determinados por ICP (TEDESCO et al., 1995); H+Al foi extraído com solução de acetato de cálcio 1 M a pH 7,0 e determinado por titulação com solução de NaOH 0,5 M (EMBRAPA, 1997). Em todas as extrações, usou-se uma relação solo/solvente de 1:10. Calcularam-se os valores de saturação da CTC por Al e por bases (TEDESCO et al., 1995).

Os resultados foram submetidos à análise da variância, na qual a profundidade do solo foi incluída como fator. A diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e discussão dos resultados será realizada em duas etapas. Inicialmente serão discutidos os efeitos isolados dos extratos nos componentes da acidez do solo. Na seqüência, o efeito combinado do calcário e dos extratos serão apresentados.

Efeitos isolados dos extratos aquosos

O solo utilizado no estudo apresentou valores médios de pH 4,62, saturação por Al de 65% e saturação por bases de 13% (Figura 1). A aplicação dos extratos aquosos de aveia preta e de nabo forrageiro resultou em aumento do pH do solo e da saturação por bases, e uma diminuição da saturação por Al nas camadas superficiais do solo (Figura 1).

A intensidade das alterações nesses componentes da acidez do solo não diferiu significativamente entre as duas plantas de cobertura, havendo, entretanto, diferença na profundidade de solo na qual os efeitos se manifestaram. O aumento do pH ocorreu até a profundidade de 2,5 cm no caso da aveia preta, e até 5 cm no caso do nabo forrageiro. O efeito desta espécie na saturação por bases e por Al também atingiu uma camada maior de solo (0-7,5 cm) em comparação à aveia preta (0-5 cm).

Na média das espécies, o efeito na camada de 0-2,5 cm foi de 0,5 unidade de pH, 40% na saturação por Al e de 22% na saturação por bases, evidenciando o papel que os compostos orgânicos e cátions básicos lixiviados da palhada destas espécies podem ter em

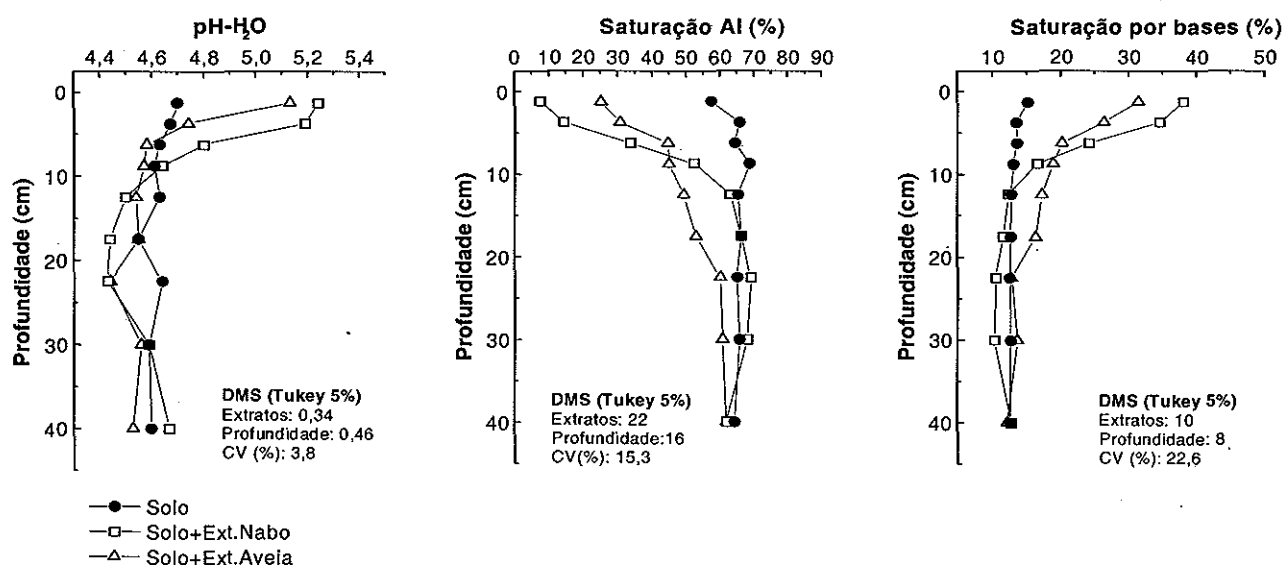


Figura 1. Valores de pH-H₂O, saturação por Al e saturação por bases num Latossolo Vermelho afetados pela adição de extratos aquosos de nabo forrageiro e aveia preta.

Tabela 1. Resumo dos resultados da análise da variância.

	Tratamento (T)	Profundidade (P)	Int. T x P	CV (%)
Experimento 1: Extratos aquosos				
pH ₂ O	0,050	0,000	0,020	3,8
V %	0,000	0,000	0,000	22,6
Al%	0,000	0,000	0,000	15,3
K	0,000	0,000	0,000	28,4
Ca	0,018	0,000	0,050	25,5
Mg	0,043	0,001	0,877	35,1
Soma bases	0,000	0,000	0,000	25,5
Al	0,000	0,000	0,000	14,6
Experimento 2: Calcário+extratos aquosos				
pH ₂ O	0,000	0,000	0,000	2,7
V %	0,000	0,000	0,000	15,6
Al%	0,001	0,000	0,001	17,5
K	0,000	0,000	0,000	20,2
Ca	0,012	0,000	0,000	24,7
Mg	0,825	0,000	0,072	26,3
Soma bases	0,001	0,000	0,000	18,8
Al	0,000	0,000	0,000	19,1

relação ao ambiente mais favorável ao desenvolvimento inicial da cultura em sucessão, à atividade microbiana e ciclagem dos nutrientes.

O aumento do pH de solos ácidos com a adição de resíduos vegetais é um resultado relativamente comum (HOYT e TURNER, 1975; MIYAZAWA et al., 1993, FRANCHINI et al., 1999a, b; AMARAL et al., 2000). Uma provável causa da elevação do pH do solo pelos resíduos vegetais envolve a reação de adsorção na superfície do material vegetal e a protonação de ácidos orgânicos com valores de pK entre o pH do solo e o pH 6,0 (RITCHIE e DOLLING, 1985). Entretanto, acidificação do solo pode ocorrer a longo prazo quando da ocorrência de lixiviação de nitrato formado a partir da mineralização de formas orgânicas de N presente nos resíduos (HELYAR, 1976).

A contribuição dos extratos vegetais para a diminuição da saturação por Al e aumento da saturação por bases (Figura 1) deu-se, em sua maior parte, pelo efeito significativo na redução do alumínio trocável. O extrato de aveia preta resultou em diminuição de alumínio até a camada de 15-20 cm em relação à testemunha, o mesmo acontecendo com o extrato de nabo. Porém, neste último, a diminuição dos valores de alumínio nas duas primeiras camadas foi mais acentuada do que no caso da aveia preta (Tabela 1). A elevação dos valores de pH do solo certamente foi um dos fatores envolvidos nessa redução dos teores de Al trocável

(Tabela 1).

Entretanto, como os extratos afetaram o pH apenas na camada superficial (0-5 cm) e o Al trocável na camada de 0-20 cm, possivelmente a redução do Al trocável também envolva a formação de complexos com compostos orgânicos hidrossolúveis. Portanto, parte do efeito dos extratos na diminuição dos teores de Al trocável possivelmente esteja relacionado à desorção do Al do complexo de troca para restabelecer o equilíbrio fase sólida:solução em decorrência da complexação do Al na solução pelos ácidos orgânicos hidrossolúveis.

O efeito mais expressivo do nabo em relação à aveia preta nas camadas superficiais tanto no pH quanto na saturação por Al provavelmente esteja relacionado à maior concentração de ácidos orgânicos no nabo em relação à aveia preta como observado por Amaral (2002) e Franchini et al. (2001). Além da concentração, o tipo de ácido pode ser um fator importante. Nesse sentido, Amaral (2002) verificou através de cromatografia líquida que no resíduo de aveia preta há um predomínio de ácido aconítico enquanto que no nabo predominam os ácidos cítrico e málico.

Como os valores de pH tendem a voltar ao seu valor inicial com o passar do tempo (HOYT e TURNER, 1975; MIYAZAWA et al., 1993; AMARAL et al., 2000), a complexação do alumínio pelos ligantes orgânicos parece ser a reação mais importante sob o

Tabela 2. Teores de K, Ca, Mg e Al trocáveis, e a soma de bases (S) de um Latossolo Vermelho argiloso submetido a adição de extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno.

Tratamento	Prof. (cm)	K	Ca	Mg	Al	S
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				
Solo	0-2,5	0,19 a C	0,90 a B	0,67	2,27 a A	1,76 a B
	2,5-5	0,19 a C	0,69 a B	0,48	2,57 a A	1,36 a B
	5-7,5	0,19 a C	0,71 a A	0,49	2,46 a A	1,39 a B
	7,5-10	0,19 a B	0,68 a A	0,46	2,95 a A	1,33 a A
	10-15	0,19 a B	0,66 a A	0,46	2,47 a A	1,31 a A
	15-20	0,19 a B	0,67 a A	0,45	2,61 a A	1,31 a A
	20-25	0,19 a A	0,66 a A	0,45	2,46 a A	1,30 a A
	25-35	0,18 a A	0,69 a A	0,47	2,57 a A	1,33 a A
	35-45	0,18 a A	0,67 a A	0,47	2,38 a A	1,32 a A
Solo+Ext. Aveia	0-2,5	1,16 a B	1,13 a B	0,82	0,99 c B	3,11 a A
	2,5-5	0,83 b B	1,19 a A	0,96	1,21 bc B	2,98 a A
	5-7,5	0,64 bc B	0,86 a A	0,65	1,67 bc B	2,16 ab A
	7,5-10	0,64 bc A	0,78 a A	0,58	1,60 bc B	2,00 ab A
	10-15	0,55 bc A	0,71 a A	0,53	1,74 bc B	1,79 b A
	15-20	0,47 cd A	0,73 a A	0,53	1,94 ab B	1,73 b A
	20-25	0,19 de A	0,70 a A	0,50	2,08 a A	1,39 b A
	25-35	0,17 de A	0,72 a A	0,50	2,11 a A	1,38 b A
	35-45	0,15 e A	0,67 a A	0,47	2,07 a A	1,29 b A
Solo+Ext. Nabo	0-2,5	1,44 a A	1,65 a A	0,75	0,30 d C	3,85 a A
	2,5-5	1,38 a A	1,19 ab A	0,77	0,56 cd C	3,34 ab A
	5-7,5	0,88 b A	0,89 bc A	0,65	1,23 bc B	2,43 bc A
	7,5-10	0,41 c B	0,72 bc A	0,51	1,83 ab B	1,64 cd A
	10-15	0,16 c B	0,76 bc A	0,35	2,13 a AB	1,27 cd A
	15-20	0,14 c B	0,63 c A	0,42	2,32 a AB	1,20 d A
	20-25	0,14 c A	0,58 c A	0,36	2,37 a A	1,07 d A
	25-35	0,13 c A	0,56 c A	0,36	2,21 a A	1,05 d A
	35-45	0,16 c A	0,69 bc A	0,46	2,14 a A	1,31 d A
Médias Tratamentos	Solo			0,49 B		
	Aveia			0,61 A		
	Nabo			0,51 AB		

Letras minúsculas comparam profundidades dentro do mesmo tratamento, e letras maiúsculas comparam tratamento dentro da mesma profundidade. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de tukey ao nível de 5%

ponto de vista da redução da fitotoxidez. O grande potencial de produção de ligantes orgânicos solúveis no sistema plantio direto, faz com que grande parte do alumínio solúvel, nesse sistema, encontre-se na forma Al-ligantes orgânicos (SALET et al., 1999). O alumínio complexado com ligantes orgânicos é considerado não tóxico ou pouco tóxico às plantas (DELHAIZE et al., 1993).

Em adição à elevação do pH e diminuição do Al trocável, a elevação da saturação por bases no solo também ocorreu pela adição de cátions básicos pre-

sentes nos extratos aquosos como pode ser inferir a partir do aumento dos teores de K, Ca e Mg no solo (Tabela 1). A aplicação de extrato de nabo determinou maiores teores de Ca e K no solo, enquanto o Mg apresentou maiores teores no solo quando da aplicação de extrato de aveia preta. Considerando o seu efeito na soma de bases (Ca+Mg+K), ambas as espécies contribuíram semelhantemente (Tabela 1), sendo o efeito restrito à camada de 0-7,5 cm. Associado à menor saturação por Al, a elevação da saturação por bases quando da aplicação dos extratos indica que a utilização

dessas espécies como plantas de cobertura pode resultar num ambiente mais adequado na camada superficial do solo ao desenvolvimento radicular na fase inicial de desenvolvimento da cultura em sucessão, fase na qual ocorre a planta é mais sensível à acidez.

Efeitos dos extratos aquosos em conjunto com o calcário

O calcário (4 Mg ha⁻¹) aplicado isoladamente na

superfície do solo teve o seu efeito na elevação do pH restrito à camada de 0-2,5 cm, e na diminuição da saturação por Al e elevação da saturação por bases à camada de 0-5 cm (Tabela 2). De maneira geral, a aplicação dos extratos aquosos de nabo e aveia preta teve um efeito aditivo ao da aplicação de calcário em relação às alterações no pH, saturação por Al e saturação por bases (Figura 2).

Como regra geral, os extratos aquosos aumen-

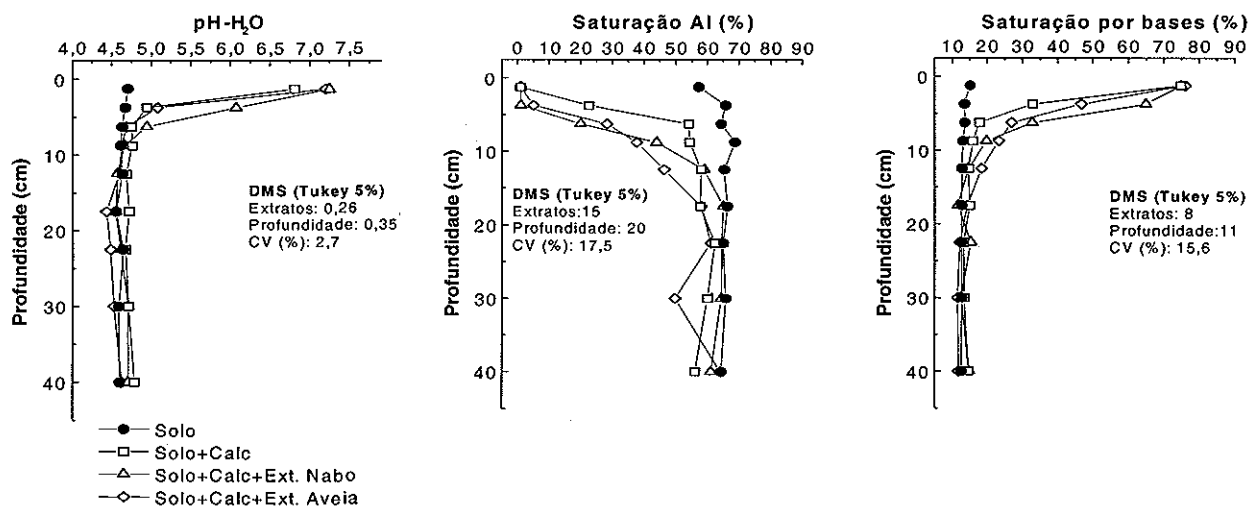


Figura 2. Valores de pH-H₂O, saturação por Al e saturação por bases num Latossolo Vermelho afetados pela adição superficial de calcário e extratos aquosos de nabo forrageiro e aveia preta.

Tabela 3. Teores de K, Ca, Mg e Al trocáveis, e a soma de bases (S) de um Latossolo Vermelho argiloso submetido a adição de calcário e de extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno.

Tratamento	Prof. (cm)	K	Ca	Mg	Al	S
cm ol _c kg ⁻¹						
Calcário	0-2,5	0,15 a B	5,26 a A	4,60	0,10 c A	10,01 a A
	2,5-5	0,16 a C	1,92 b B	1,66	1,01 b A	3,75 b C
	5-7,5	0,18 a B	0,88 c A	0,67	2,06 a A	1,74 c B
	7,5-10	0,18 a C	0,85 c A	0,64	1,98 a A	1,67 c A
	10-15	0,21 a B	0,76 c A	0,55	2,10 a A	1,52 c A
	15-20	0,18 a A	0,80 c A	0,58	2,13 a A	1,56 c A
	20-25	0,17 a A	0,68 c A	0,47	2,21 a A	1,32 c A
	25-35	0,17 a A	0,72 c A	0,51	2,11 a A	1,40 c A
	35-45	0,19 a A	0,76 c A	0,55	1,92 a A	1,50 c A
Calcário+Ext. Aveia	0-2,5	1,51 a A	4,79 a A	3,92	0,10 c A	10,22 a A
	2,5-5	0,98 b B	2,18 b B	2,00	0,26 c B	5,16 b B
	5-7,5	0,69 c A	1,14 c A	1,05	1,10 b A	2,88 c A
	7,5-10	0,69 c A	0,90 c A	0,78	1,41 ab A	2,37 cd A
	10-15	0,59 c A	0,70 c A	0,56	1,57 ab A	1,85 cd A
	15-20	0,18 d A	0,75 c A	0,57	2,05 a A	1,50 cd A
	20-25	0,15 d A	0,61 c A	0,51	1,97 a A	1,28 d A
	25-35	0,15 d A	1,05 c A	0,86	1,76 a A	2,06 cd A
	35-45	0,14 d A	0,61 c A	0,45	2,13 a A	1,20 d A
Calcário+Ext. Nabo	0-2,5	1,45 a A	4,95 a A	3,83	0,11 c A	10,23 a A
	2,5-5	1,16 b A	4,21 a A	2,41	0,08 c B	7,78 b A
	5-7,5	0,69 c A	1,45 b A	1,03	0,79 c B	3,17 c A
	7,5-10	0,39 d B	0,95 b A	0,73	1,62 b A	2,07 cd A
	10-15	0,22 de B	0,72 b A	0,48	2,01 b A	1,42 d A
	15-20	0,16 e A	0,64 b A	0,45	2,27 ab A	1,25 d A
	20-25	0,15 e A	0,83 b A	0,53	2,89 a A	1,52 d A
	25-35	0,15 e A	0,66 b A	0,46	2,29 ab A	1,27 d A
	35-45	0,16 e A	0,69 b A	0,49	2,10 b A	1,34 d A
Médias Tratamentos	Calcário			1,14 A		
	Calcário+Aveia			1,19 A		
	Calcário+Nabo			1,16 A		

Letras minúsculas comparam profundidades dentro do mesmo tratamento, e letras maiúsculas comparam tratamento dentro da mesma profundidade. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

taram a profundidade de solo na qual o calcário influenciou o pH e a saturação por bases e por Al (Figura 2). Entretanto, houve um efeito diferenciado das duas espécies de plantas de cobertura. Em relação ao pH, o extrato de nabo forrageiro associado ao calcário aumentou o pH na profundidade de 5 cm em comparação a profundidade de 2,5 cm para os tratamentos com calcário isoladamente ou associado à extrato de aveia preta. A saturação por Al e saturação por bases, que foram afetadas apenas até 5 cm quando da aplicação apenas de calcário, aumentaram até 10 cm e 7,5 cm de profundidade, respectivamente, com a aplicação de calcário associado aos extratos de aveia e nabo, não havendo diferença entre as espécies.

Os efeitos dos extratos na amenização da acidez do solo, verificados no presente estudo, não ocorreram com a mesma magnitude do que os determinados por Miyazawa et al. (1993), Franchini et al. (1999a, b), Ziglio et al. (1999) e Franchini et al. (2001), os quais observaram efeitos da aplicação de resíduos vegetais na neutralização da acidez e transporte de Ca e Mg até 25 cm de profundidade. As prováveis causas da menor magnitude dos resultados obtidos no presente estudo podem ser o maior teor de argila do solo (maior tamponamento), menor quantidade de resíduos vegetais utilizados para obtenção dos extratos aquosos (equivalente a 3,8 Mg ha⁻¹), e menor período experimental.

A influência dos extratos aquosos no aumento da profundidade na qual o calcário teve efeito na diminuição da saturação por Al e aumento da saturação por bases teve como principal causa a redução dos teores de Al trocável e aumento dos teores de bases trocáveis, especificamente, Ca e Mg, na profundidade de até 7,5 cm (Tabela 2). Convém salientar que os efeitos dos tratamentos na elevação das bases trocáveis e diminuição do Al trocável são aditivos quanto do cálculo da saturação por Al e por bases. Assim, a influência dos extratos na profundidade de solo afetada pelo calcário aplicado em superfície é bem mais saliente na saturação por Al e por bases do que nos teores de Al e bases trocáveis isoladamente.

Esses resultados são importantes no sentido de permitir visualizar o possível papel dos ácidos orgânicos hidrossolúveis e cátions básicos lixiviados da palhada resultante de plantas de cobertura de inverno sobre a mobilidade vertical de cátions e efeito da aplicação do calcário em superfície nos componentes da acidez sub-superficial de solos em plantio direto. Em condições de campo, outros fatores como a porosidade contínua (biopóros) e mistura do solo pela atividade da meso e

macrofauna podem contribuir para o efeito do calcário na acidez do solo em sub-superfície. Nesse sentido, tem sido verificado efeito do calcário aplicado em superfície na minimização da acidez da camada de 0-7,5 cm (SANTOS, 1997), 0-10 cm (SÁ, 1996; Pötter e Ben, 1998), e 0-15 cm (CIOTTA, 2001) de solos em plantio direto.

O efeito dos extratos aquosos na elevação do pH do solo é temporário, pois segundo Wolt (1994), Jones (1996) e Jones (1998), os ácidos orgânicos podem ser rapidamente transformados pelos microrganismos no solo, bem como também podem ser adsorvidos nos constituintes do solo, especialmente nos minerais de argila, inclusive competindo com o fósforo pelos sítios de adsorção. Entretanto, o efeito dos ácidos orgânicos hidrossolúveis na descida de cátions no solo é preservado mesmo após decomposição do composto orgânico pela microbiota.

CONCLUSÕES

1. Os extratos aquosos de aveia preta e nabo forrageiro amenizaram a acidez nas camadas superficiais do solo, evidenciado pela elevação do pH e da saturação por bases e diminuição da saturação por Al;
2. Os extratos aquosos diminuíram os teores de Al trocável até 20 cm de profundidade, e elevaram os teores de Ca, Mg e K trocáveis até 7,5 cm;
3. A adição combinada de calcário com os extratos aquosos de aveia preta e nabo forrageiro aumentou a profundidade na qual o corretivo teve efeito sobre os componentes da acidez neste solo argiloso, sendo o extrato de nabo forrageiro mais eficiente nesse sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C., BAYER, C., ELTZ, F. L. F. et al. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.25, p. 189-197, 2001.
- AMARAL, A.S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.
- AMARAL, A. S., SPADER, V., ANGHINONI, I. et al. Resíduos vegetais na superfície do solo afetam a acidez do solo e a eficiência do herbicida flumetsulam.

- Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p. 789-794, 2000.
- ANGHINONI, I., SALET, R. L. Calagem no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2., 2001, Piracicaba. **Palestras....** Piracicaba: Potafos, 2001, p. 1-14.
- BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v.53, p. 95-104, 2000.
- CASSOL, E.A. **Erosão do solo – influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura/IPRNR, 1984. 40 p. (Boletim Técnico, 15)
- CIOTTA, M. N. **Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo bruno aluminoso sob plantio direto há 20 anos**. 2001, 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2001.
- DELHAIZE, E., RYAN, P.R., RANDALL, P.J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum L.*) II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. **Plant Physiology**, Palo Alto, v.103, p.695-702, 1993.
- DERPSCH, R. Expansão mundial do plantio direto. **Revista Plantio Direto.**, Cruz Alta, v. 5, p.32-40, 2000.
- EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FRANCHINI, J.C., BORKERT, C.M., FERREIRA, M.M. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.24, p. 459-467, 2000.
- FRANCHINI, J.C., GONZALEZ-VILA, F.J., CABRERA, F., et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid oxisol. **Plant Soil**, The Hague, v. 231, p. 55-63, 2001.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999a.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999b.
- HELYAR, K. R. Nitrogen cycling and soil acidification. **J. Aust. Inst. Agric. Science**, 42: 217-221, 1976.
- HOYT, P.B., TURNER, R.C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yields. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 119, p. 227-237, 1975.
- HUE, N.V., CRADDOCK, G.R., ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in sub-soils. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v. 50, p. 28-34, 1986.
- JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. **Plant Soil**, The Hague, v. 205, p. 25-44, 1998.
- JONES, D.L., PRABOWO, A. M., KOCHIAN, L.V. Aluminum organic acid interactions in acid soils: II. Influence of solid phase sorption on organic acid-Al complexation and Al-rhizotoxicity. **Plant Soil**, The Hague, v. 182, p. 229-237, 1996.
- LAL, R. **Role of mulching techniques in tropical soil and water management**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 1976. 38p. (Technical Bulletin, 1).
- MIELNICZUK, J., BAYER, C.VEZZANI, F. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio no solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 209-248, 2003.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., 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., 2000, Ponta Grossa. **Resumos....** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82-94.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 17, p. 411-416, 1993.
- PEARSON, R.G. Acids and Bases. **Science**, Baltimore, v. 151, p. 172-177, 1966.
- PÖTKER, D., BEN, J. R. Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1998. p. 77-92.
- RITCHIE, G.S.P., DOLLING, P.J. The role of organic matter in soil acidification. **Australian Soil Research**, Melbourne, v. 23, p.569-576, 1985.
- SÁ, J. C. M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. In: SÁ, J. C. M. **Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto**. Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p. 73-107.

SALET, R.L., ANGHINONI, I., KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v.1, p.9-13, 1999.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons. 1976. 618 p.

SANTOS, E. J. S. **Aplicação de calcário em solos arenosos sob sistema plantio direto e campo nativo**. 1997. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1997.

SILVA, I. F., MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 311-317, 1998.

TEDESCO, M. J., GIANELO, C., BISSANI, C. A., et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VARGAS, L. K., SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-44, 2000.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2002. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

WOLT, J.D. **Soil solution chemistry**. New York: John Wiley, 1994. 345p.

ZIGLIO, C.M., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Braz. Arch. of Biol. & Tech.**, Curitiba, v. 42, p. 257-262, 1999.