

ACIDEZ DE SOLOS SULFATADOS CULTIVADOS COM FORRAGEIRAS E CANA-DE-AÇÚCAR FRENTE À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO

Eduardo Augusto Barbosa¹; Doracy Pessoa Ramos²; Luiz de Moraes Rêgo Filho³

(¹Engenheiro Florestal da Prefeitura de Campos dos Goytacazes; ²Professor Emérito da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); ³Pesquisador da Pesagro-Rio)

INTRODUÇÃO

Solos ácidos sulfatados são encontrados em ambientes hidromórficos, exceto quando artificialmente drenados (BARBOSA, 1997). Apresentam constituição normalmente orgânica na superfície, com elevada concentração de enxofre elementar ou de compostos deste elemento, provenientes da água do mar. Dentre suas principais características, está o fato de se tornarem extremamente ácidos quando submetidos ao rebaixamento do lençol freático e, portanto, à oxidação excessiva. Esse fato, descrito inicialmente na Holanda, tem motivado várias pesquisas na busca da melhor forma de ocupação desses ambientes. Privilegiado por seus aspectos de relevo plano e cobertura orgânica, são intensamente requeridos para a produção agrícola e, não raramente, destinados a projetos de assentamento rural, como já ocorrido no Brasil nas baixadas dos rios Mearim, no Maranhão e dos rios Paraíba do Sul, Macaé e São João, no Rio de Janeiro, com severos prejuízos à comunidade e aos assentados, pela impossibilidade de utilização dessas terras em sistemas de baixo nível tecnológico. A definição de estratégias de manejo desses solos inclui, além do tratamento do seu potencial de acidez, aspectos de clima, hidrologia e possibilidades econômicas dos agricultores, uma vez que somente algumas semanas de seca reduzem severamente as oportunidades agrícolas, a menos que haja água disponível para irrigação ou para manter o lençol freático elevado artificialmente. Somente assim, no Vietnã, na Indonésia e em Bangkok, foram obtidas produções satisfatórias com as culturas do coco e do arroz, tolerantes a certo grau de salinidade.

Na Baixada Campista do Rio de Janeiro, onde se realizou este estudo, terras com essas características foram drenadas excessivamente, causando grande redução da matéria orgânica e ascensão dos horizontes sulfatados para a profundidade efetiva das raízes da maioria das plantas cultivadas. No entanto, em vista de sua posição estratégica na região pela proximidade do parque sucroalcooleiro e farta disponibilidade de recursos hídricos, essas terras continuaram sendo requisitadas para a utilização agrícola, em especial com a cana-de-açúcar, que nelas têm baixíssimas produções, mesmo com o elevado custo de produção, influenciado principalmente pela calagem, que chega, muitas vezes, a valores superiores a 10 toneladas por hectare.

Diante desse desafio, o presente trabalho teve como objetivo fornecer aos produtores regionais opções de manejo e de uso das terras com menor impacto ambiental e econômico, diagnosticando, através de experimentos de campo cultivados com a cana-de-açúcar e com duas forrageiras, o desempenho desses solos quanto a sua acidez, após a aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidas duas áreas experimentais na Baixada Campista, município de Campos dos Goytacazes, região Norte Fluminense, pertencentes à classe dos Organossolos Tiomórficos Sápricos, cuja análise química dos primeiros 40 cm é apresentada no Quadro 1.

A primeira área (Área I) faz parte da Fazenda Barra Sul e, desde o início dos anos 80, vem sendo cultivada com arroz e forrageiras, ambas com baixo sucesso produtivo. A segunda área (Área II) pertence à Fazenda São Luiz, da Usina de Açúcar Cupim, com histórico de cultivo com cana-de-açúcar desde a década de 70, cultivo este decrescente em produtividade, que não alcança hoje mais de 30 toneladas por hectare, mesmo com aporte de elevadas doses de calcário. Nas duas áreas, empregaram-se como tratamentos oito doses de calcário dolomítico (0; 5; 10; 15; 20; 25; 30 e 35 M.ha⁻¹) de PRNT= 89%, CaO= 42% e MgO= 16%, suficientes para neutralização de até 17,5 cmolc.kg⁻¹ de alumínio trocável, valor comum nos solos em questão.

Quadro1. Características químicas dos solos das áreas experimentais I (forrageiras) e II (cana-de-açúcar), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Campos dos Goytacazes - RJ. 2015.

CARACTERÍSTICAS	ÁREA I		ÁREA II	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
Enxofre elementar ¹	825,0	950,0	832,0	998,0
PH	3,3	3,4	3,8	3,3
Potássio ²	0,2	0,2	0,2	0,2
Sódio ²	0,9	0,9	1,3	1,1
Alumínio ²	13,7	12,3	12,3	14,5
Hidrogênio ²	30,6	32,1	34,2	37,1
CTC ³	49,5	50,2	58,2	61,1
Fósforo assimilável ¹	13,7	12,3	46,2	28,5
Carbono ⁴	90,0	150,0	45,0	94,3
Condutividade elétrica ⁵	3,1	2,8	9,9	11,4
Cálcio ²	2,3	2,2	6,2	3,6
Magnésio ²	1,8	2,5	4,0	5,1

1- (mg.dm⁻³); 2- trocável (cmolc.kg⁻¹); 3- Capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (cmolc.kg⁻¹); 4- (g.kg⁻¹); 5- do extrato de saturação (dS.m⁻¹)

Na Área I, as parcelas foram subdivididas em subparcelas para plantio, 59 dias após a calagem, de duas espécies de gramíneas forrageiras: brachiaria (*Brachiaria decumbens* L) e "fura-chão" (*Panicum repens* L.) em combinação fatorial. O plantio foi executado por mudas em sulcos distanciados de 20 cm, no espaçamento de 20 cm entre plantas, sem o uso de adubação. Na Área II, 58 dias após a calagem, plantou-se cana-de-açúcar, variedade SP 70114, com adubação de plantio composta por 16 kg.ha⁻¹ de N, 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg.ha⁻¹ de K₂O. O plantio foi executado em sulcos distanciados de 100 cm entre si, na profundidade de 30 cm, utilizando colmo inteiro e picado no sulco. Os dois experimentos foram delineados em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Para o controle do nível do lençol freático na faixa de transição entre os horizontes orgânico e mineral (altura aproximada de 60 cm), foram construídos canais de drenagem interligados, nos lados das áreas experimentais e, também, nos seus centros, dividindo as áreas em duas partes iguais, cada uma

com dois blocos. Nas épocas de estiagens e veranicos prolongados, procedeu-se à adução de água por subirrigação controlada. Para o monitoramento da altura do lençol freático, foram instalados seis piezômetros em cada área experimental e realizadas leituras a cada dez dias. Foram coletadas amostras de solos das parcelas nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm em quatro épocas distintas após a calagem e correspondentes a 0; 53; 214 e 429 dias na área I e 0; 55; 236 e 536 dias na área II. Nessas amostras foram realizadas determinações químicas, sendo analisados: pH em água, condutividade elétrica do extrato de saturação, cálcio, magnésio, alumínio e hidrogênio + alumínio trocáveis. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5%. Para a amostragem do rendimento da matéria seca (Mg.ha^{-1}) das forrageiras, utilizou-se um quadrado de madeira com 100 cm de lado sobre cada subparcela, delimitando-se, assim, a área de corte. Desse material, foram retirados 200 g que foram acondicionados em sacos de papel e secados em estufa a 105°C. A colheita da cana-de-açúcar seguiu as recomendações técnicas da UFRRJ - Campos (antigo PLANALSUCAR), considerando-se como área útil da parcela as quatro fileiras centrais de colmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pertencendo ao mesmo grande grupo, os solos das duas áreas experimentais diferenciam-se no quarto nível categórico pela presença do caráter salino, indicado pela condutividade elétrica no extrato de saturação superior a sete dS.m^{-1} (Quadro 1), encontrados na área II.

Esse fato, decorrente possivelmente do histórico de uso da área, com maior aporte de adubos e corretivos comparativamente com a área I, é típico dessa classe de solos, que apresenta grande variabilidade espacial de características químicas. Foram obtidas significâncias nas duas profundidades estudadas, para efeitos dos tratamentos de calagem sobre pH, alumínio e hidrogênio + alumínio na área I, e sobre pH, cálcio, alumínio, hidrogênio + alumínio e magnésio na área II (Quadro 2).

Quadro 2. Valores de F (5%) da análise de variância e coeficientes de variação (CV%) para o efeito dos tratamentos de calagem sobre as características estudadas. Campos dos Goytacazes - RJ. 2015.

Características / Profundidade (cm)	ÁREA I			ÁREA II		
	CV %	F(calagem)	F(ép $\times$ ca) ¹	CV %	F (calagem)	F(ép $\times$ ca) ¹
pH (0-20)	12,2	2,55 *	1,31 NS	7,86	3,34 *	2,82 *
pH (20-40)	7,20	2,20 *	2,64 *	5,7	3,90 *	0,62 NS
Cálcio ² (0-20)	48,5	1,97 NS	0,90 NS	31,4	3,31 *	0,91 NS
Cálcio ² (20-40)	34,0	1,27 NS	1,83 S	25,3	3,68 *	0,67 NS
Magnésio ² (0-20)	94,7	0,39 NS	0,52 NS	35,8	0,98 NS	0,28 NS
Magnésio ² (20-40)	44,3	1,64 NS	0,76 NS	23,3	6,89 *	1,12 NS
Alumínio ² (0-20)	56,0	1,71 NS	1,31 NS	24,0	6,74 *	2,59 *
alumínio ² (20-40)	30,9	2,31 *	2,37 *	26,0	4,89 *	0,34 NS
H+Al ³ (0-20)	19,0	2,59 *	1,20 NS	13,0	4,20 *	2,35 *
H+Al ³ (20-40)	17,0	0,50 NS	2,20 *	12,0	4,48 *	0,74 NS
CE ⁴ (0-20)	36,0	0,64 NS	0,47 NS	24,6	1,55 NS	0,93 NS
CE ⁴ (20-40)	31,0	0,62 NS	0,55 NS	27,5	1,46 NS	1,25 NS

1- época x calagem; 2- trocável; 3- hidrogênio+alumínio trocável; 4- condutividade elétrica do extrato de saturação.

* Significativo ao nível de 5%.

NS - não significativo.

Confirmando, em áreas de características semelhantes à pesquisada, é elevadíssimo o poder tampão desses solos, o que nas duas áreas experimentais não permitiu a elevação do pH para valores superiores a 5,1, mesmo nas parcelas com tratamentos mais elevados de calagem (Quadro 3).

Pode-se observar que nas duas áreas as médias obtidas diferenciaram-se entre si pelo teste Tukey a 5%, na segunda época de observação, época essa que também apresentou os maiores valores de pH. Os dados também mostram o retorno do pH, já aos 214 dias na área I e aos 236 dias na área II, para valores próximos aos iniciais, valores esses que praticamente se mantiveram nesses mesmos níveis até o final do experimento. Esse fato se deve, provavelmente, à recarga do sistema com íons responsáveis pela acidez (Quadro 4), decorrentes da oxidação de sulfetos presentes no material de origem.

Quadro 3. Valores de pH na profundidade de 0-20 cm para os diferentes tratamentos com calagem e épocas de observação nas áreas I (forrageiras) e II (cana-de-açúcar). Campos dos Goytacazes-RJ. 2015.

Tratamentos calcário M.ha ⁻¹	ÁREA I				ÁREA II			
	Épocas (dias)				Épocas (dias)			
	0	53	214	429	0	55	236	536
				pH				
0	3,3a	3,7c	3,9a	4,2a	3,9a	3,5c	3,7a	3,6 a
5	3,3a	3,8c	3,7a	3,8a	3,9a	3,7b	3,6a	3,6a
10	3,3a	4,0b	4,2a	4,0a	3,9a	3,7b	3,7a	3,8a
15	3,4a	4,8ab	4,2a	4,3a	3,9a	3,8b	3,8a	3,6a
20	3,4a	4,6ab	4,3a	4,4a	3,9a	4,2ab	3,8a	3,9a
25	3,5a	4,1b	4,2a	4,7a	3,9a	4,6a	4,0a	4,0a
30	3,4a	4,8ab	3,9a	3,9a	3,8a	4,2ab	3,9a	4,0a
35	3,3a	5,1a	3,9a	4,2a	3,9a	4,9a	3,9a	4,0a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Essa recarga parece ser mais efetiva ou facilitada na área II, uma vez que nela os valores de H+Al se equivalem ou são superiores na terceira época de observação (236 dias) aos seus valores iniciais, independentemente dos tratamentos de calagem realizados. Para todos os tratamentos, os teores de alumínio reduziram-se na segunda época de observação, alcançando, nos de maiores dosagens de calcário, médias inferiores a 10% do inicial na área I e a 20% do inicial na área II.

Observou-se, como já constatado para pH e H + Al, que o alumínio no solo tem tendências de retornar a valores mais elevados nas épocas subseqüentes à segunda observação. No entanto, esse retorno manifesta-se de forma diferente nas duas áreas. Enquanto na área I, cultivada com forrageiras, ele ocorre com médias de valores correspondentes a aproximadamente 50% das iniciais e não diferenciadas pelo teste de média utilizado, na área II, esse retorno ocorre com valores elevados e até superiores aos iniciais, valores que somente voltarão a se diferenciar na quarta época de observação (Quadro 4).

Quadro 4. Valores trocáveis de hidrogênio + alumínio (H+Al) e alumínio (Al) em $\text{cmol}_e.\text{kg}^{-1}$ na profundidade de 0-20 cm para os diferentes tratamentos com calagem nas épocas de observação. Campos dos Goytacazes - RJ. 2015.

Tratamentos calcário M.ha^{-1}	ÁREA 1				ÁREA 2			
	Épocas (dias)				Épocas (dias)			
	0	53	214	429	0	55	236	536
	Hidrogênio + Alumínio							
0	46a	42a	39a	34a	43a	54a	50a	49a
5	43a	38ab	40a	39a	43a	49ab	49a	51a
10	43a	39ab	35a	37a	39a	44ab	47a	45ab
5	43a	32ab	37a	33a	45a	47ab	45a	41abc
20	40a	31ab	32a	31a	44a	39bc	45a	39abc
25	42a	36ab	35a	30a	40a	39bc	41a	39abc
30	42a	26b	38a	33a	44a	44ab	44a	29c
35	44a	29ab	38a	30a	44a	29c	41a	34bc
	Alumínio							
0	13,1a	11,4a	6,0a	3,5a	12,3a	13,8a	15,2a	16,1a
5	11,7a	8,6a	8,2a	6,6a	12,3a	10,0a	14,8a	14,0a
10	11,5a	7,3ab	5,8a	7,4a	11,9a	9,2b	13,6a	14,2a
15	10,5a	4,0ab	4,5a	3,5a	13,1a	7,0bc	11,9a	11,4ab
20	11,7a	4,5ab	4,0a	8,9a	12,6a	6,2c	10,0a	10,4ab
25	12,6a	5,1ab	5,1a	2,4a	12,0a	2,3c	9,7a	9,9ab
30	10,6a	1,3b	6,6a	5,5a	12,4a	6,8bc	11,0a	5,4b
35	12,2a	1,0b	7,0a	4,1a	12,7a	2,0c	9,2a	6,5b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Outro efeito observado na dinâmica do alumínio nos solos das áreas estudadas, está no fato de alcançar, na área I, em alguns tratamentos, valores inferiores a 30% dos iniciais ao final da experimentação, inclusive no tratamento zero de calcário, enquanto na área II apenas nos tratamentos com calagem superiores a 10 M.ha^{-1} eles decrescem em relação ao inicial, alcançando valores correspondentes a 50% dos iniciais, nos tratamentos de 30 e 35 M.ha^{-1} .

Essa forma diferenciada do retorno ao sistema dos íons H+Al e Al nas duas áreas e o fato de o alumínio nas parcelas de tratamento zero de calagem decrescer substancialmente ($9,6 \text{ cmol}_e.\text{kg}^{-1}$) ao longo das épocas de observação apenas na área I, indica que outro mecanismo de tornar o alumínio insolúvel ou pouco extraível do solo, além da usual neutralização pelo cálcio, esteja atuando nessa área I.

De acordo com os dados do Quadro 5, verifica-se que as médias do cálcio nas duas profundidades examinadas da área I apresentam valores muito próximos entre tratamentos e épocas, não são diferenciadas pelo teste de Tukey e pouco se modificaram em relação às iniciais.

Quadro 5. Valores de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$) nas profundidades de 0-20 e 20-40cm para os diferentes tratamentos com calagem e épocas de observação. Campos dos Goytacazes - RJ. 2015.

Tratamentos calcário M.ha^{-1}	ÁREA 1				ÁREA 2			
	Épocas (dias)				Épocas (dias)			
	0	53	214	429	0	55	236	536
0-20cm								
0	2,3a	2,1a	3,1a	2,6a	6,6a	6,2a	3,6b	4,9a
5	1,8a	2,4a	2,4a	2,5a	5,7a	6,3a	4,7ab	6,3a
10	2,6a	2,9a	3,5a	2,3a	6,4a	6,8a	5,6ab	7,1a
15	2,1a	2,1a	3,2a	2,4a	5,2a	6,8a	5,8ab	5,3a
20	2,7a	2,0a	3,2a	3,0a	6,4a	7,4a	6,1ab	6,2a
25	2,0a	2,2a	2,9a	2,9a	6,8a	8,2a	6,9ab	6,8a
30	2,7a	2,1a	3,3a	3,2a	5,7a	6,4a	6,2ab	7,8a
35	2,1a	2,0a	3,4a	3,5a	6,4a	8,2a	7,6a	8,0a
20-40cm								
0	2,4a	2,0a	3,2a	2,6a	3,8a	4,3b	3,6a	4,5ab
5	2,0a	2,6a	3,5a	2,8a	4,4a	5,2ab	4,8a	4,8ab
10	2,4a	3,3a	2,6a	2,6a	4,1a	5,0ab	4,0a	4,8ab
15	2,3a	2,0a	2,7a	2,4a	3,7a	5,2ab	4,1a	3,9b
20	2,0a	2,2a	3,0a	3,1a	4,1a	5,3ab	5,1a	5,0ab
25	2,2a	2,3a	2,9a	3,0a	3,9a	6,4ab	4,9a	5,2ab
30	1,9a	2,4a	3,2a	3,7a	4,9a	7,5a	4,8a	6,1ab
35	2,5a	2,3a	3,4a	3,8a	4,3a	7,1a	5,1a	6,8a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Ao se confrontarem esses dados com os do Quadro 4, relativos à segunda época de observação de alumínio trocável, é possível admitir que grande parte do cálcio aplicada na área I tenha sido utilizada na neutralização da acidez nociva. Não se deve, porém, eliminar a hipótese de ter ocorrido no solo, após a troca com o alumínio e hidrogênio, uma rápida imobilização do cálcio pela formação de complexos orgânicos ou quelatação com substâncias amorfas. Embora o cálcio não forme complexos de coordenação forte na complexação argilo - húmica, seu desempenho no presente estudo pode sugerir um processo de imobilização no solo com forças de ligações suficientemente fortes, para evitar sua extração com o extrator utilizado nas análises. A não ocorrência dessa mesma imobilização na área II, cultivada com cana-de-açúcar, e na qual, ao contrário da área I, ocorre considerável aumento do alumínio trocável ao longo das épocas de observação, além de nítida acumulação de cálcio nas parcelas com tratamentos de calagem mais elevada (Quadro 5), deve-se, provavelmente, ao seu alto teor de sais solúveis, que dificultaram a formação dos complexos e quelatos.

Quanto ao decréscimo substancial de alumínio nos solos na ausência de calcário da Área I, vários autores têm demonstrado que algumas espécies de plantas apresentam tolerância à toxidez desse elemento por diferentes mecanismos, como a da sua imobilização nas paredes celulares, do aumento de pH na rizosfera precipitando o alumínio em solução e da liberação de exudatos orgânicos radiculares (ácidos orgânicos) que formariam complexos ou quelatos com o alumínio. Especificamente com forrageiras, trabalhando respectivamente com brachiaria e nabo forrageiro em solos ácidos de baixa

fertilidade e com capim-colonião em solução nutritiva, verificaram alta tolerância dessas culturas à toxidez de alumínio, o que possivelmente se deva à habilidade delas em excluir o alumínio do ápice da raiz pela exudação de ácidos orgânicos e formação de complexos ou quelatos.

Embora reconhecendo o elevado nível de tolerância da *brachiaria* ao alumínio, há discordância que isso ocorra dentro do tecido por quelatação com diferentes ácidos orgânicos, preferindo acreditar que essa tolerância se deva ao forte aumento do pH da rizosfera do entorno do alongamento da raiz. Apesar dessa determinação na rizosfera ser muito localizada, os valores de pH obtidos das parcelas sem calagem não comprovam a ocorrência, ao longo da experimentação (Quadro 3), de acréscimos de pH que possibilitassem a formação de hidróxidos para retirar do meio quase 10 cmol_c.kg⁻¹ de alumínio trocável como ocorrido. Os dados de produção obtidos (Quadro 6) não deixam dúvidas, ao contrário do ocorrido com a cana-de-açúcar, da elevada habilidade dessas culturas de se protegerem dos efeitos tóxicos dos altos valores desse elemento nesses solos orgânicos sulfatados e, assim, representarem excelente opção de uso dessas terras sem grandes investimentos em calcário.

Quadro 6. Produtividade M.ha⁻¹ das forrageiras (dois cortes de matéria seca) e da cana-de-açúcar (colmos) ao final da experimentação. Campos dos Goytacazes - RJ. 2015.

Tratamentos	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Panicum repens</i>	Cana-de-açúcar
0	11,39 a	13,40 a	0 c
5	8,05 b	14,41 a	0 c
10	9,08 b	14,09 a	3,65 bc
15	9,69 a	10,91 a	13,47 b
20	8,62 b	14,13 a	20,90 b
25	12,09 a	12,42 a	34,50 ab
30	12,21 a	13,55 a	41,15 a
35	9,81 a	11,59 a	36,20 ab

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

CONCLUSÕES

1. O elevado poder tampão, com recarga rápida de íons responsáveis pela acidez devida à alta concentração de sulfatos, não permite a elevação do pH para valores superiores a 5,1.
2. O cultivo das forrageiras faz decrescer o alumínio trocável nas parcelas sem aplicação de calcário em valores correspondentes a 9,6 cmol_c.kg⁻¹.
3. Os dados de produção indicam as forrageiras utilizadas como de alta tolerância ao alumínio nocivo e, ao contrário da cana-de-açúcar, como opção de uso desses solos orgânicos sulfatados.

REFERÊNCIA

Barbosa, E. A. Solos Orgânicos Salinos Tiomórficos: Influência da Calagem e da Drenagem Controlada nas Características Químicas e na Produção de *Brachiaria decumbens*, *Panicum repens* L. e cana-de-açúcar. 1997. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Fundação Estadual do Norte Fluminense.