

Como se observa, embora o pH do solo dos canteiros tenha baixado em relação ao pH do início do ensaio, como ocorre geralmente em nosso meio, o salitre do Chile, pode conservá-lo mais elevado que os outros dois adubos nitrogenados empregados.

CATANI & GALLO (1954) estudaram o efeito que o uso contínuo de sulfato de amônio, superfosfato e cloreto de potássio determinam no solo. Serviram-se de dois ensaios de adubação que a Secção de Cereais e Leguminosas do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo vinha executando em Campinas (Terra Roxa Misturada) e Mococa (Massapé), durante 16 e 12 anos, respectivamente. Foram retiradas amostras compostas de terra, das linhas que receberam adubo e das entrelinhas.

Em relação ao pH dos solos, o superfosfato e o cloreto de potássio não tiveram nenhum efeito. Uma idéia sumária da ação do sulfato de amônio nesse particular pode ser obtida através dos dados da tabela I, em que N0, N1 e N2 representam, respectivamente, 0, 20 e 40 kg de nitrogênio por hectare. Os resultados são médias aritméticas dos valores encontrados.

Experimento de	Localização das amostras	pH		
		N0	N1	N2
Campinas	Nas linhas	5,74	5,42	5,07
	Nas entre-linhas	5,24	5,63	5,30
Mococa	Nas linhas	6,29	5,57	5,52
	Nas entre-linhas	6,20	6,13	6,00

Tabela I — Efeitos das doses de sulfato de amônio sobre o pH dos solos.

Nota-se que as linhas que receberam sulfato de amônio tiveram seu pH mais baixo que as entre-linhas, apesar das doses relativamente pequenas desse adubo empregadas nos ensaios. Como a tendência atual é de se usar doses mais altas de N, a acidificação do terreno poderá ser bem mais intensa.

Como foi esclarecido no início a finalidade principal dêste artigo é tecer comentários sôbre os resultados de um trabalho apresentado por dois autores colombianos, JAVIER CHICA G. & JAI-ME LOTERO C. (1969). Trata-se de uma adaptação de uma tese apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agrícolas de Medellin para obter o título de engenheiro agrônomo.

O trabalho original visava obter informações sôbre os efeitos de doses e fontes de fertilizantes nitrogenados sôbre o pH de um solo, tendo em vista os seguintes objetivos:

a) medir as variações do pH do terreno em 5 profundidades, diferentes, como resultado da aplicação de 3 fontes de nitrogênio em 5 doses crescentes;

b) verificar se algumas anormalidades que se apresentavam no experimento, como a diminuição do rendimento do pasto de pangola e alguns sintomas de deficiências minerais que as gramíneas apresentavam eram devidas às variações do pH;

c) determinar qual das 3 fontes de azoto estudadas causava maior variação no pH do solo e até que profundidade o efeito se verificava.

O experimento foi iniciado em 1960, usando-se como adubos nitrogenados o sulfato de amônio — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, a uréia — $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ e o nitrato de sódio — NaNO_3 . As doses empregadas dos referidos fertilizantes foram escolhidas de tal modo que levaram 0, 50, 100, 150 e 200 kg de N por hectare em cada aplicação.

As características físicas e químicas do solo usado no experimento são as apresentadas nas tabelas II e III.

pH	M.O. %	N %	P ppm BRAY	e. mg/100 g de terra			
				Ca	Mg	K	Na
6,0	2,42	0,09	50,8	3,99	1,61	0,20	0,20

Tabela II — Características químicas do solo

Profundidade cm	Areia %	Limo %	Argila %	Textura
0 — 5	59,9	31,0	9,1	Franco arenoso
5 — 10	62,4	28,5	9,1	Franco arenoso
10 — 20	59,9	31,0	9,1	Franco arenoso
20 — 40	59,9	31,0	9,1	Franco arenoso
40 — 60	67,4	26,0	9,6	Franco arenoso

Tabela III — Componentes texturais e textura do solo a diferentes profundidades.

As parcelas experimentais eram de 2m x 2m sendo os adubos nitrogenados aplicados após cada corte do capim, num total de 21.

Todas as parcelas receberam os mesmos adubos à base de fósforo e de potássio e nas mesmas quantidades, no início do experimento e após cada 6 cortes, na razão de 100 kg/ha de P₂O₅ e 50 kg/ha de K₂O.

Após o 21º. corte foram tomadas amostras de terra em cada parcela, nas profundidades indicadas na tabela III. As amostras correspondentes foram misturadas, de modo a formar uma amostra composta, na qual se procedeu à determinação do pH.

Os resultados relativos às variações do pH se acham na tabela IV. Um exame superficial dos dados já mostra os efeitos do sulfato de amônio e da uréia em baixar o pH do solo, ou seja, em elevar-lhe a acidez, enquanto que o nitrato de sódio apresentou efeito contrário, elevando o pH. As pequenas discrepâncias que se notam nos canteiros que não receberam nitrogênio são devidas a erros experimentais.

Kg/ha de N	Profundidade cm	pH devido ao emprego dos adubos		
		NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CO(NH ₂) ₂
0 (0)*	0 — 5	5,95	5,78	5,61
	5 — 10	6,13	5,80	5,80
	10 — 20	6,25	5,96	5,88
	20 — 40	6,41	6,21	6,25
	40 — 60	6,57	6,16	6,38
50 (1.050)	0 — 5	6,66	4,62	5,22
	5 — 10	6,68	5,07	5,53
	10 — 20	6,42	5,27	5,66
	20 — 40	6,52	5,83	6,15
	40 — 60	6,63	6,12	6,26
100 (2.100)	0 — 5	6,83	4,05	5,20
	5 — 10	6,88	4,17	5,42
	10 — 20	6,93	4,65	5,55
	20 — 40	7,23	5,48	6,08
	40 — 60	7,72	5,56	6,07
150 (3.150)	0 — 5	6,96	4,07	4,95
	5 — 10	7,22	4,06	5,03
	10 — 20	7,35	3,97	5,48
	20 — 40	7,55	4,80	6,12
	40 — 60	7,51	5,40	6,46
200 (4.200)	0 — 5	7,50	3,85	4,67
	5 — 10	7,70	3,98	4,78
	10 — 20	7,47	3,78	5,23
	20 — 40	7,92	4,23	5,85
	40 — 60	7,92	4,62	6,27

(*) O número entre parêntesis indica o total de N aplicado após os 21 cortes.

Tabela IV — Efeitos das fontes de N e das doses aplicadas sobre os valores pH do solo.

A análise estatística dos resultados expostos na tabela IV não revelou diferença significativa ao nível de 5% entre o sulfato de amônio e a uréia. Houve, porém, diferenças entre os efeitos desses dois adubos e do nitrato de sódio.

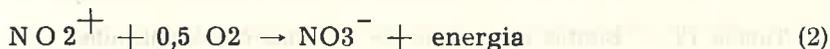
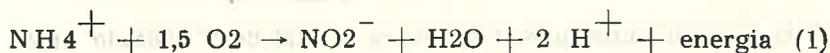
Pode-se tirar a média aritmética entre os valores pH encontrados nas 3 primeiras profundidades estudadas. Obtem-se, assim, um valor médio para a camada de 0 — 20 cm, que é a camada arável, a mais intensamente explorada pelas raízes das plantas. Assim procedendo pode-se preparar a tabela V:

Kg/ha de N	Profundidade cm	pH devido ao emprego dos adubos		
		NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CO(NH ₂) ₂
0 (0)*	0 — 20 cm	6,11	5,85	5,76
50 (1.050)	0 — 20 cm	6,59	4,99	5,47
100 (2.100)	0 — 20 cm	6,88	4,22	5,39
150 (3.150)	0 — 20 cm	7,18	4,00	5,15
200 (4.200)	0 — 20 cm	7,56	3,87	4,89

(*) O número entre parêntesis indica o total de N aplicado após os 21 cortes.

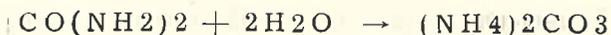
Tabela V — Efeitos das fontes e doses de N sobre o pH médio da camada de terra arável (0 — 20 cm).

A ação acidificante do sulfato de amônio é reconhecida e facilmente compreendida. É que esse sal se dissocia na solução do solo, produzindo os ions NH₄⁺ e SO₄²⁻. O primeiro sofre o processo de nitrificação efetuado por microrganismos apropriados e existentes no terreno.



Dessa forma o nitrogênio, que no sulfato de amônio se achava na forma amoniacal — NH_4^+ , passa para a forma nítrica — NO_3^- , a mais facilmente assimilável pelas raízes das plantas. Mas deixa no solo ions hidrogênio H^+ (reação 1) e sulfato — SO_4^{2-} estes produzindo em parte ácido sulfúrico e ambos responsáveis pela acidificação resultante.

No caso da uréia, a primeira reação que se verifica, após a sua introdução no solo, é a reação com a água, produzindo carbonato de amônio:



Por esse processo, o nitrogênio, que na uréia se encontrava na forma amídica — NH_2 , passa para a forma amoniacal, igual a do sulfato de amônio. Então, êle sofre o processo de nitrificação, como foi explicado nas equações (1) e (2). Mas deixa no solo ions H^+ e possivelmente um resíduo de ácido nítrico, uma vez que a maior parte do nitrato é absorvida pelas plantas. Mas a consequência final é um abaixamento do pH, como mostra a experiência.

Já com o nitrato de sódio ocorre o oposto. No terreno êle se desdobra nos ions sódio — Na^+ e nitrato — NO_3^- , sendo êste absorvido pelas plantas em proporções estequiométricas maiores que o Na^+ , que é um elemento alcalinizante. A consequência é lógica: uma elevação do pH.

O desenvolvimento exagerado da acidez pode trazer complicações sérias ao solo que serão traduzidas por baixas produções das culturas. O fato é conhecido e já tem sido muito comentado. Os experimentos não deixam dúvidas. Contudo, um deles se tornou famoso pela sua duração e pelos resultados que apresentou. Foi conduzido durante 40 anos na Estação Experimental da Pennsylvania, nos Estados Unidos da América do Norte. O pH inicial do solo era 7,0 (solo neutro) e todos os tratamentos receberam fósforo e potássio nas doses respectivas de 54 kg/ha de P_2O_5 e de 160 kg/ha de K_2O . Os resultados totais obtidos na rotação milho, trigo, aveia e forragem, dados em toneladas por hectare, são apresentados na tabela VI.

Os resultados desse ensaio mostram que, quando não são feitas calagens para corrigir a acidez do solo causada pelo uso contínuo de sulfato de amônio, êste faz baixar fortemente as colheitas em relação ao nitrato de sódio. Porém, quando são feitas calagens, as diferenças desaparecem.

PERÍODO	24 kg. N/ha		48 kg. N/ha		72 kg. N/ha		
	NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	
1882-1889	18,04	18,43	18,51	20,03	18,58	19,44	
1890-1897	19,01	18,20	19,41	19,04	19,90	18,13	
1898-1905	16,68	16,02	17,66	15,95	17,96	15,37	
1906-1913	18,48	16,43	19,28	14,89	19,46	12,72	
1914-1921	17,86	15,21	18,30	11,88	18,87	9,27	
Média	1882-1921	18,02	16,86	18,63	16,36	18,95	14,99
Sem calcário	1932-1937	15,11	9,34	15,28	5,97	15,87	5,06
Com calcário	1932-1937	17,53	19,39	18,47	20,01	18,72	19,23
Sem calcário	1938-1945	16,06	8,62	16,00	6,16	17,87	5,70
Com calcário	1938-1945	16,46	15,79	16,19	16,84	16,10	16,59

Tabela VI — Produções totais na rotação, em t/ha.

Existe um número elevado de experimentos comparando os efeitos dos adutos nitrogenados. MALAVOLTA (1967, pág. 48) cita os experimentos de TIDMORE & WILLIAMSON que compararam os efeitos do salitre do Chile, do sulfato de amônio e da torta de algodão em quantidades suficientes para fornecerem 37,5 kg/ha de N. O fósforo e o potássio foram empregados na base de 80kg/ha de P₂O₅ e 32,2 kg/ha de K₂O. Entre outras, ressalta a seguinte conclusão: a eficiência média e relativa dos adubos nitrogenados nos 222 experimentos conduzidos, dando-se o valor 100 para o salitre do Chile, foi:

Salitre do Chile	100
Sulfato de amônio	89
Torta de algodão	57

Outro trabalho, importante pelo número de ensaios realizados foi citado pelo mesmo autor (MALAVOLTA, 1967, pág. 48): em 4.971 experimentos de um ano de duração cada um, com cereais, beterraba e batatinha, HUPPERT & BUCHNER verificaram que a eficiência dos adubos nitrogenados estudados decresce na seguinte ordem.

Nitrato de sódio ou de cálcio	100,0
Nitrato de cálcio + nitrato de amônio	98,2
Nitrato de amônio	91,7
Sulfato de amônio	90,5

Seria enfadonho citar mais exemplos. Pelos apresentados acima pode-se perceber que os fertilizantes amoniacais e principalmente quando usados sistematicamente, tendem a apresentar resultados inferiores aos nítricos sobretudo por causa de seus efeitos sobre o pH do solo. Isso, entretanto, não significa que eles sejam de pior qualidade. Significa, apenas, que devem ser empregados de acordo com suas características, o que não é exclusivo deles, mas uma observação válida para todos os adubos.

Voltando, agora, ao trabalho de JAVIER CHICA G. & JAIME LOTERO C. (1969) eles concordaram com o que já haviam afirmado diversos autores de que o sulfato de amônio e a uréia fazem baixar o pH do solo. No experimento que realizaram não puderam constatar diferenças significativas, a esse respeito, entre os efeitos de ambos em 4 anos após o início do ensaio (21 cortes), mas puderam verificar maior tendência de acidificação do sulfato que da uréia. O nitrato de sódio, contrariamente, revelou ação alcalinizante. Nos primeiros anos após o início do ensaio não foram nota das diferenças de produção do capim pangola entre os tratamentos nitrogenados. A partir do terceiro ano, o nitrato de sódio começou a se mostrar o melhor. vindo, a seguir, a uréia e, finalmen-

te, o sulfato de amônio.

Ademais, as plantas iniciaram a exibição de sintomas de deficiência de fósforo nas parcelas tratadas com sulfato de amônio e com uréia, sobretudo nas primeiras. Isso pode ter-se dado como consequência da forte redução do pH que teria provocado o aparecimento de maiores quantidades de ferro e de alumínio solúveis. Estes teriam reagido com o fósforo fixando-o em formas insolúveis, não assimiláveis pelo capim.

Os resultados relatados neste artigo foram observados por JAVIER CHICA G. & JAIME LOTERO C. (1969). Outras conclusões decorrentes dos efeitos dos adubos nitrogenados incluídos no experimento poderão ser deduzidas pelo leitor atento.

LITERATURA CITADA

CATANI, R. A. & J. R. GALLO, 1954 — *Bragantia* 13: 75.

MALAVOLTA, E., 1967 — *Manual de Química Agrícola — Adubos*

e *Adubação*. Biblioteca Agronômica "Ceres", São Paulo.

NEVES, O. S., G. P. VIEGAS & H. S. FREIRE, 1960 — *Bragantia* 19, Nota 25.

JAVIER CHICA G. & JAIME LOTERO C., 1969 — *Revista do Instituto Colombiano Agropecuario* 4 (2): 31.

