

# EFEITO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE DA FÁBRICA DE CELULOSE JUNTO COM FOSFOGESSO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO<sup>1</sup>

T. KINJO<sup>2</sup>; R.I. SILVEIRA<sup>2</sup>; Z.Z. MARCOS<sup>2</sup>; I.O. ABRAHÃO<sup>2</sup>

**RESUMO:** Foram coletados vários efluentes alcalinos da fábrica de celulose a fim de estudar a utilização destes junto com fosfogesso na correção da acidez do solo. Avaliou-se o poder de neutralização dos efluentes e a lixiviação de sódio na presença de fosfogesso numa coluna de terra. A aplicação do efluente eleva o pH do solo e o volume de efluente necessário para atingir pH 6,5 depende da sua composição química e o poder tampão de acidez do solo. A lixiviação de sódio é maior quando o fosfogesso é incorporado ao solo. A combinação do efluente com o fosfogesso corrige a acidez do solo, aumenta o teor de cálcio e, ao mesmo tempo, reduz o acúmulo de sódio no solo.

**Descritores:** acidez do solo, efluente alcalino, lixivia negra.

## CELLULOSE MILL LIQUID ALKALINE WASTE AND GYPSUM AS A SUBSTITUTE FOR LIME IN SOILS

**ABSTRACT:** Alkaline liquid effluent from cellulose factories was used in an experimental study to appraise the feasibility of utilizing this material with industrial gypsum (residual material from superphosphate production) for the correction of soil acidity. A soil + gypsum column was prepared and leached with the sodium rich industrial waste. Soil pH was raised but the amount of material needed bring it to 6.5 was found to vary with soil chemical composition and soil acidity buffering capacity. The soil leachate was richer in Na when gypsum was presented. Results obtained show that industrial gypsum combined with alkaline waste neutralizes soil acidity, increases soil calcium content and prevents sodium accumulation in the soil.

**Key Words:** gypsum, soil acidity, alkaline waste.

## INTRODUÇÃO

O efluente de fábricas de celulose (lixivia negra) é um líquido residual de indústria. Esse líquido com reação alcalina tem, dentre outros elementos, o sódio como seu principal constituinte problemático. A composição química e alcalinidade do efluente varia com a natureza das atividades de indústrias que empregam processamentos diferentes na fabricação de celulose. A aplicação do efluente ao solo pode trazer uma série de modificações nas suas propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, afetar a produção agrícola. A elevação da porcentagem de saturação de sódio trocável no solo pode ocasionar um desequilíbrio

nutricional nas plantas e deterioração nas propriedades físicas do solo (Estados Unidos, 1954).

O acúmulo de sódio trocável depende da concentração de cálcio na solução do solo. KINJO & MARCOS (1982b) mostram que, em solos do Estado de São Paulo, a relação sódio-cálcio trocáveis aumenta linearmente com a elevação da razão sódio-cálcio da solução do solo ou vice-versa. Uma maneira de aumentar o cálcio na solução do solo é a aplicação de fosfogesso, um resíduo industrial da fábrica de adubos. O cálcio é mais retido que o sódio pelos colóides do solo (FASSBENDER, 1975) e, conseqüentemente, o acúmulo de sódio no solo na presença de cálcio deve ser menor. Espera-se que a correção da acidez do solo

<sup>1</sup> Trabalho apresentado na 19ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, em Santa Maria-RS, de 23 a 27 de julho de 1990.

<sup>2</sup> Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11 - Cxa. Postal, 09 - 13418-900 - PIRACICABA-SP.

pelo efluente seja acompanhada pelo fornecimento de cálcio e enxofre pelo fosfogesso e a consequente lixiviação do sódio.

O objetivo deste trabalho foi estudar a correção da acidez do solo com efluente da fábrica de celulose e a lixiviação de sódio na presença de fosfogesso.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Resíduos industriais

Os resíduos industriais utilizados no trabalho foram o efluente da fábrica de celulose e o fosfogesso da fábrica de adubos fosfatados.

Algumas características químicas dos efluentes coletados de várias fábricas estão apresentados no Quadro 1. São líquidos de alcalinidade apreciável e com teores elevados de sódio que podem causar deterioração nas propriedades físicas do solo. O efluente nº 5 foi o escolhido para o estudo de lixiviação do sódio no solo.

O fosfogesso, outro resíduo industrial, foi obtido da fábrica de adubos Ultrafertil. Sua composição química foi a seguinte: CaO = 28,7%; SO<sub>3</sub> = 43,3%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1,2%; Umidade = 12,7%.

### 2. Solos

Os solos utilizados foram Latossolo Roxo, distrófico e Area Quartzosa, ambos localizados no Município de Piracicaba do Estado de São Paulo. Os solos foram escolhidos por serem ácidos e com valores de CTC diferentes. As amostras de terra foram coletadas da camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade e, após secagem ao ar, foram destorroadas e passadas por uma peneira com malha de 2 mm. As características físicas e químicas das amostras de terra estão apresentadas no Quadro 2. No estudo de lixiviação do sódio no solo, apenas amostras de terra do Latossolo Roxo foram utilizadas.

### 3. Curva de titulação potenciométrica

As curvas de titulação potenciométrica foram obtidas através da medida de pH das suspensões contendo volumes diferentes de efluente. Para isso foram colocados 10 g de TFSA em copos de boêmia. O volume total de líquido para a suspensão de terra foi 80 ml para o Latossolo Roxo, distrófico e 25 ml para a Area Quartzosa. A fim de manter o volume do líquido constante, porém, variar o volume do efluente, adicionou-se água destilada ao efluente para completar

o volume total do líquido indicado anteriormente. A suspensão de terra foi agitada três vezes durante três horas de repouso. A determinação do pH foi feita colocando-se o eletrodo de vidro no sedimento e o de referência na solução sobrenadante.

### 4. Lixiviação de sódio numa coluna de terra

A lixiviação de sódio do efluente nº 5 na presença de fosfogesso foi estudada numa coluna de terra do Latossolo Roxo. A coluna de acrílico consistia de 10 anéis. Cada um destes tinha as seguintes dimensões: diâmetro interno de 2,2 cm; altura de 2 cm e volume interno de 7,6 cm<sup>3</sup>. Os anéis foram numerados de 1 a 10, iniciando de cima para baixo na posição vertical. Um anel extra foi colocado acima do nº 1 para receber o efluente. No fundo do anel nº 10 foi colocado um disco de papel de filtro para evitar a perda de terra. A coluna, assim preparada, foi preenchida com 80 g de terra, tendo, cada anel, 8g de terra. O uso de pequenos anéis facilitou a análise de terra uma vez que não foi necessário separar uma certa quantidade de amostra para análise. Os resultados foram mais precisos que os obtidos de colunas maiores.

O experimento foi conduzido da seguinte maneira. Os anéis de nº 6 a nº 10 receberam apenas a terra e os nº 1 a nº 5, a terra misturada com fosfogesso. Os níveis deste foram 0, 122, 244, 488 e 610 mg por coluna. Primeiramente, aplicou-se 80 ml do efluente nº 5 e, em seguida, água destilada, coletando-se o percolado em frações de 10 ml até atingir 160 ml. O percolado foi analisado para determinar as concentrações de sódio e cálcio. A coluna de terra foi seccionada por anel para as determinações de pH do solo e dos teores de sódio e cálcio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Poder de neutralização dos efluentes

A alcalinidade dos efluentes varia conforme sua origem (Quadro 1) e, conseqüentemente, o poder de neutralização dos efluentes também, conforme mostram as curvas de neutralização potenciométrica apresentadas nas Figuras 1 e 2. No Latossolo Roxo, o volume aplicado ao solo para atingir pH 6.5 foi equivalente a aproximadamente 13.000 m<sup>3</sup>/ha para o efluente nº 1 e 1.400 m<sup>3</sup>/ha para o efluente nº 7. Esses dois efluentes têm valores extremos quanto ao poder de neutralização enquanto que os demais se situam entre esses dois. O volume de um efluente para atingir o pH 6,5 varia de um solo para outro, dependendo de seu poder tampão

Quadro 1 - Características químicas dos efluentes coletados de várias fábricas de celulose do Estado de São Paulo.

Efluente	CE x 10 <sup>3</sup> 25°C	pH	Na	K	Alcalinidade N	CaCO <sub>3</sub> equiv. t/1000 m <sup>3</sup>
			ppm			
1	1,13	9,7	293	22	0,002	0,11
2	1,89	7,4	449	21	0,005	0,26
3	10,94	8,4	3082	17	0,012	0,62
4	2,33	9,0	633	53	0,008	0,41
5	8,10	10,2	1013	48	0,009	0,47
6	6,32	10,8	1633	27	0,014	0,68
7	8,96	11,5	1116	49	0,045	2,23

## Fábricas:

- 1 - Indústria de Papel e Celulose-SIMÃO
- 2 e 4 - Cia Suzano de Papel
- 3, 6 e 7 - RIPASA
- 5 - CHAMPION Papel e Celulose S.A.

de acidez. A areia quartzosa, com pequeno poder tampão, necessita aproximadamente a metade do volume de efluente aplicado ao Latossolo Roxo para atingir o mesmo pH 6.5.

## 2. Lixiviação de sódio numa coluna de terra

A remoção dos íons sódio e cálcio, pela lixiviação, está apresentada graficamente na Figura 3. A lixiviação de sódio aumentou linearmente nos primeiros 80 ml de percolado, e passou a ser curvilínea, diminuindo assintoticamente com o aumento de volume do percolado. A lixiviação do cálcio também teve um comportamento semelhante ao do sódio, porém em quantidade muito menor.

Comparando-se a lixiviação teórica de sódio, sem retenção no solo, com a do experimento, observou-se uma certa quantidade de sódio retido no solo até a coleta de um volume do percolado igual ao do efluente aplicado. Se não houvesse ocorrido a adsorção de sódio no solo, a quantidade de sódio lixiviado em 80 ml de percolado seria igual ao total aplicado como efluente. Segundo KINJO & MARCOS (1982a), a adsorção de sódio ocorre em solos do Estado de São Paulo e sua magnitude depende da concentração. A adsorção

máxima de sódio nos solos estudados pelos mesmos autores variou de 1,30 a 3,17 meq/100 g de terra, quantidade essa menor que os valores de capacidade de troca catiônica efetiva.

A aplicação de gesso ao solo foi eficiente na remoção de sódio. No tratamento com 610 mg de gesso por coluna, o maior nível do experimento, a lixiviação de sódio foi quase total com a passagem de um volume de água correspondente ao efluente aplicado. Em outros níveis mais baixos de gesso, a remoção de sódio foi proporcionalmente menor e levaria mais tempo e mais água para eliminá-lo. O gesso é comumente utilizado na recuperação de solos afetados pelo excesso de sódio na região árida e semi-árida (Estados Unidos, 1954).

As quantidades de sódio e cálcio retidas no solo, após passagem de 80 ml de efluente e o mesmo volume de água, estão apresentadas no Quadro 3. Os dados obtidos por 8 gramas de terra por anel foram recalculados por 100 gramas de terra. Na testemunha, onde não houve incorporação de fosfogesso, o acúmulo de sódio foi em torno de 4 meq/100 g de terra ao longo da coluna, enquanto que, no tratamento com 610 mg de fosfogesso, o teor de sódio retido na coluna caiu para uma média de 0,65 meq/100 g de terra (um sexto da testemunha).

Quadro 2 - Características físicas e químicas das amostras de terra do Latossolo Roxo, distrófico (L.R.) e da Areia Quartzosa (A.Q.) coletadas na camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade.

Solo	Areia	Silte	Argila	M.O.	Ca+Mg	K+	H+Al	CTC	pH H <sub>2</sub> O
L.R.	22	18	60	1,7	2,40	0,02	5,87	8,29	5,0
A.Q.	85	1	14	0,3	0,25	0,01	2,64	2,90	4,4

Quadro 3 - Quantidades de Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> retidas nas colunas após passagem do efluente e água de percolação. As colunas de 10 anéis contêm terra tratada com fosfogesso de 0, 122, 233, 488 e 610 mg nos primeiros 5 anéis.

Anel Nº	Na <sup>+</sup> retido na coluna Fosfogesso, mg/5 anéis					Ca <sup>2+</sup> retido na coluna Fosfogesso, mg/5 anéis				
	0	122	244	488	610	0	122	244	488	610
	meq/100 g TFSA									
1	4,43	4,46	3,83	2,60	2,06	3,03	5,34	7,83	6,33	8,50
2	4,61	3,26	2,10	1,58	0,84	3,26	5,24	6,74	11,43	11,46
3	3,94	2,96	2,21	8,85	0,60	3,28	5,00	6,16	11,98	11,64
4	3,79	3,26	1,75	0,58	0,59	3,50	4,43	6,74	9,18	9,86
5	3,75	3,49	1,76	0,69	0,63	4,46	4,40	6,18	6,56	8,18
6	3,75	3,15	0,98	0,69	0,53	3,44	4,20	5,84	6,96	7,60
7	3,86	3,60	1,31	1,11	0,54	3,84	4,14	6,13	6,68	8,44
8	4,09	3,49	1,39	1,15	0,63	4,40	4,28	5,66	6,94	7,94
9	3,71	3,49	1,20	1,14	0,81	4,30	3,88	5,83	7,10	7,00
10	3,56	3,08	1,65	1,15	0,81	4,33	3,86	4,80	6,43	6,44

Quadro 4 - Valores de pH da terra após passagem do efluente e água de percolação através das colunas de 10 anéis, contendo terra tratada com fosfógeno de 0, 122, 244, 488 e 610 mg nos primeiros 5 anéis.

Anel nº	Fosfógeno, mg/5 anéis				
	0	122	244	488	610
1	8,7	8,5	7,8	7,4	7,6
2	8,4	8,1	7,6	7,0	7,7
3	8,0	7,7	7,7	6,4	6,6
4	8,0	7,8	7,4	6,4	6,5
5	7,8	7,6	7,5	6,6	6,6
6	7,8	7,6	7,5	6,5	6,5
7	7,7	7,5	7,2	6,6	6,2
8	7,6	7,4	7,1	6,5	6,1
9	7,6	7,6	7,1	6,3	6,3
10	7,6	7,5	7,2	6,3	6,2

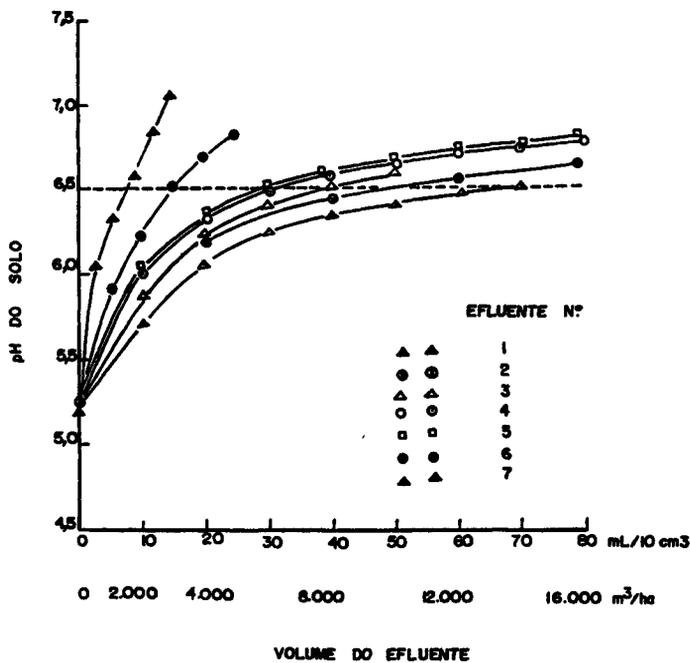


Figura 1 - Curvas de titulação potenciométrica obtidas com efluentes de várias fontes, aplicados na camada superficial (0 a 20 cm) do Latossolo Roxo, distrófico.

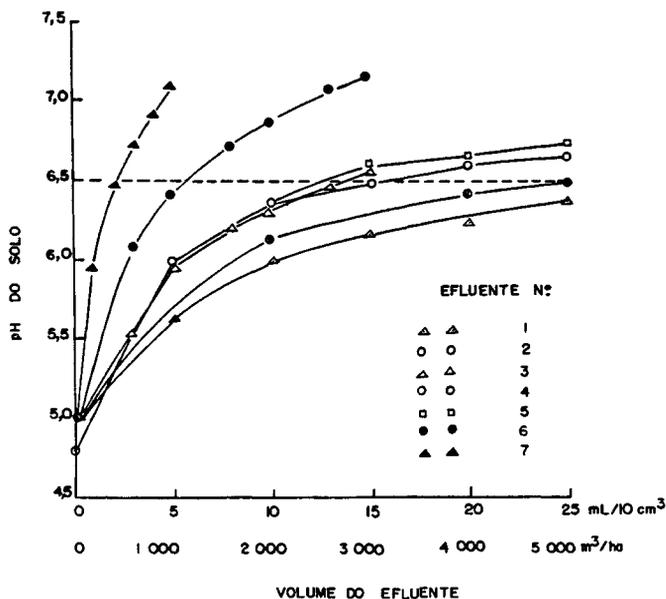


Figura 2 - Curvas de titulação potenciométrica obtidas com efluentes de várias fontes, aplicados na camada superficial (0 a 20 cm) da Areia Quartzosa.

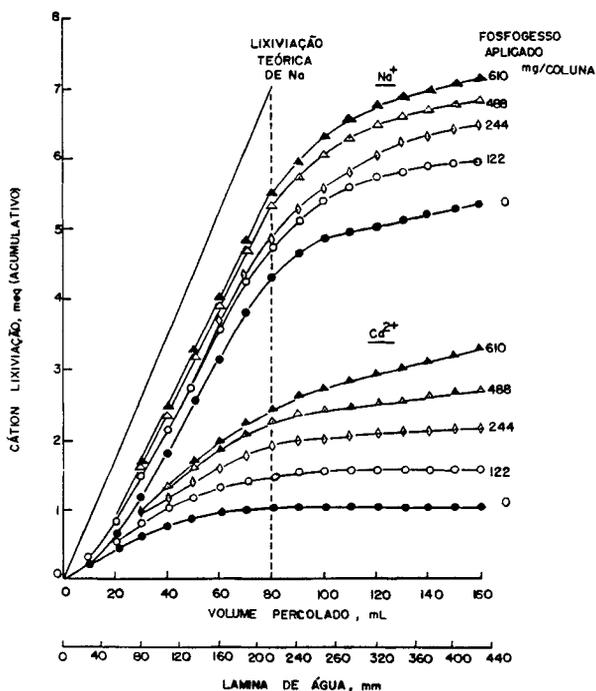


Figura 3 - Lixiviação do sódio e cálcio nas colunas de terra tratadas com 80 ml de efluente, várias quantidades de fosfógeno e percolado em frações de 10 em 10 ml até atingir o total de 160 ml.

O teor de cálcio na testemunha, após passagem de efluente e água para lixiviação de sódio, ainda é apreciável e corresponde de 40 a 50% da capacidade de troca de cátions. Com a elevação do nível de fosfógeno aplicado, o teor de cálcio também aumentou atingindo a capacidade de troca de cátions com uma dose de 610 mg/coluna, a dose mais alta do experimento. Neste tratamento, o teor de sódio retido no solo foi consideravelmente reduzido. Segundo estudo de equilíbrio de troca catiônica entre sódio e cálcio feito por KINJO & MARCOS (1982b), a relação sódio - cálcio trocáveis diminui linearmente com a diminuição da concentração de sódio em relação a do cálcio da solução do solo. A aplicação de fosfógeno aumenta a concentração de cálcio e, conseqüentemente, diminui o teor de sódio no solo através do processo de troca catiônica entre sódio e cálcio. Como a série liotrópica indica (FASSBENDER, 1975), o íon sódio é mais fracamente retido que o cálcio pelas cargas negativas dos colóides do solo, facilitando a remoção do sódio pela lixiviação.

A reação do solo mudou com a aplicação de efluente alcalino e variou com as quantidades de fosfógeno incorporados no solo, como mostram os dados apresentados no Quadro 4. Com a aplicação de efluente equivalente a 16.000 m<sup>3</sup>/ha a 20 cm de profundidade, o pH na testemunha atingiu uma faixa de 7.6 a 8.7, mesmo após passagem de um volume de água igual ao do efluente. À medida que a quantidade de fosfógeno aplicada aumentou, houve a diminuição no pH a nível adequado para o crescimento das plantas.

Este estudo mostrou que a aplicação de efluente alcalino das fábricas de papel e de celulose corrige a acidez do solo. Há, porém, o risco de acúmulo de sódio no solo a um nível prejudicial ao crescimento de plantas. Este problema pode ser resolvido pela utilização de fosfógeno que facilita a eliminação do sódio adicionado e, ao mesmo tempo, aumenta o cálcio disponível para as plantas.

### CONCLUSÃO

A aplicação de efluente de fábrica de celulose resulta em elevação do pH do solo. O volume de efluente necessário para atingir pH 6.5 depende da composição química do efluente e do poder tampão de acidez do solo. A lixiviação de sódio é maior quando o fosfógeno é aplicado ao solo. A combinação de efluente com fosfógeno corrige a acidez do solo, aumenta o teor de cálcio e, ao mesmo tempo, reduz o acúmulo de sódio no solo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Salinity Laboratory - Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, 1954. 160p.
- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos*. Turrialba, IICA, 1975. 398p.
- KINJO, T. & MARCOS, Z.Z. Adsorção de sódio em alguns solos do Estado de São Paulo. I. Isoterma de adsorção de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6:73-77, 1982a.
- KINJO, T. & MARCOS, Z.Z. Adsorção de sódio em alguns solos do Estado de São Paulo. II. Equilíbrio de troca catiônica entre sódio e cálcio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6:78-82, 1982a.

---

Trabalho entregue para publicação em 14.08.91  
Trabalho aprovado para publicação em 16.12.91