

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-102 - AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE SÍLICA AMORFA COMO CORRETIVO DE SOLOS

Durval Rodrigues de Paula Junior⁽¹⁾

Professor Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP. Representante da UNICAMP no Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH (SP) e no Conselho Estadual de Saneamento - CONESAN (SP). Desenvolve atividades de Ensino e Pesquisa em graduação e pós-graduação nas áreas de Saneamento Rural, Tratamento de Águas Residuárias, Digestão Anaeróbia e Manejo de Resíduos Agroindustriais.

Eloiza Lutero Alves

Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aquilino Pacheco, 175.- Cidade Alta.- Piracicaba - SP – CEP: 13 417-240 – Brasil – Tel: +55 (19) 37881035 – Fax: +55 (19) 37881010

durval@agr.unicamp.br

RESUMO

As empresas geradoras de resíduos sólidos têm sido pressionadas a desenvolver novas formas de utilização dos resíduos, pois os tratamentos e disposições convencionais, como aterros e incineradores, têm se mostrado onerosos e problemáticos, considerando as restrições impostas aos aterros e considerando o complexo processo de licenciamento dessas destinações. O estudo da utilização do resíduo de produção de sílica amorfa como corretivo de solo agrícola está inserido no esforço da sociedade em buscar caminhos viáveis para os resíduos, sendo a opção, neste caso, o uso agrícola do resíduo. Nesse sentido, neste trabalho realizaram-se análises físico químicas tanto no resíduo de sílica amorfa, como na mistura do resíduo, solo e carbonato de cálcio, em diferentes proporções misturados ao solo, que foi corrigido para indicação da potencialidade do resíduo como corretivo, possibilitando a comparação com o poder de correção do carbonato de cálcio. O experimento comparativo feito entre o resíduo de sílica amorfa e o carbonato de cálcio mostrou que o resíduo é capaz de melhorar a fertilidade do solo nos parâmetros: pH, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e porcentagem de saturação por bases. Conclui-se que o resíduo tem potencial para ser utilizado para correção de acidez de solo agrícola e, a mistura constituída de 50% de CaCO₃ (corretivo padrão) e 50% de resíduo (lodo inorgânico) foi a que apresentou oportunidade de exploração do resíduo com a maior eficiência.

Palavras-chave: lodo inorgânico, corretivo de solo, indústria química, resíduos sólidos.

INTRODUÇÃO

A sociedade de consumo se sustenta na aquisição e consequente descarte de bens de consumo, tornando os produtos cada vez menos duráveis, para que haja maior consumo. Esse descarte não só incrementa os resíduos do produto em si, como também aumenta a geração dos demais resíduos presentes no processo produtivo desse produto. Estudos do resíduo gerado nas cadeias produtivas estão sendo realizados e contemplados na análise de ciclo de vida do produto. Vários autores já abordam a questão dos resíduos sólidos e a complexidade para equacionamento e solução de sua geração e descarte (FIGUEIREDO, 1995). O equacionamento dos resíduos resume-se na trilogia: reduzir o consumo de materiais; reutilizar o que já está produzido; e reciclar o que não pode ser reutilizado.

As empresas geradoras de resíduos sólidos têm sido pressionadas a desenvolver novas formas de utilização dos resíduos, pois os tratamentos e disposições convencionais, como aterros e incineradores, têm se mostrado onerosos e problemáticos, considerando as restrições impostas aos aterros e considerando o complexo processo de licenciamento dessas destinações (ALVES, 2001).

O emprego de produtos ácidos na indústria química é muito comum. Quando estes são empregados em excesso para deslocar o equilíbrio da reação, o composto ácido restante acaba indo para na corrente de efluente líquido, muitas vezes impedindo seu lançamento no corpo d'água ou nas redes coletoras de esgoto sem tratamento prévio.

Normalmente emprega-se a soda cáustica ou a cal para neutralização de efluente industriais. A soda cáustica é mais cara que a cal e embora seja utilizada em menor quantidade, o custo final de neutralização do efluente ainda é maior. A cal apresenta bons resultados na elevação do pH em diversos efluentes ácidos, porém, ela gera maior um volume de lodo bem maior que a soda cáustica.

Os descartes tradicionais para o lodo de inorgânico da indústria química são o aterro industrial e a incorporação em materiais de construção. As leis e as pressões da sociedade têm dificultado o licenciamento de aterros industriais, o que torna o preço de disposição elevado, além disso a empresa geradora poderá ser responsabilizada futuramente, se o aterro vier a apresentar vazamentos ou funcionamento irregular. A incorporação em materiais de construção é ainda mais rara, uma vez que a incorporação, como forma de diluição do lodo na matéria prima, é vista como uma maneira de espalhar o poluente sem acrescentar benefícios significativos ao produto final.

No Brasil, poucos e esparsos estudos de aplicação de resíduos industriais no solo têm sido feitos, e a geração desse tipo de material continua crescente. O princípio da "Preservação da Poluição" (SMA, 2000), que busca minimizar os riscos ao meio ambiente, tem provocado certo receio em empresas de grande porte, em investir no pioneirismo de alternativas, pois as incertezas sobre as respostas da natureza ao resíduo podem tanto solucionar o problema, quanto levar a remediações em áreas muito extensas, especialmente quando se trata de utilização de resíduo na agricultura como corretivo, que normalmente acarreta em aplicação em pequenas concentrações, porém em grandes áreas. Um exemplo de resíduo industrial que foi estudado e aceito como corretivo de solo agrícola é o gesso, gerado como resíduo no processo de produção de fertilizantes de enxofre (malavolta, 1992). A vinhaça e a torta de filtro, resíduos da produção de açúcar e álcool, também são amplamente utilizadas como fertilizantes (MATTIAZZO-prezotto, 1994).

Dentro deste contexto, foi realizado um estudo de caso com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de lodo de efluente neutralizado com cal, como corretivo da acidez de solo agrícola.

Materiais e Métodos

Na avaliação de cinco tratamentos (A,B,C,D e E) compostos por misturas diferentes de resíduo (lodo inorgânico) e Carbonato de Cálcio (corretivo padrão) adicionados, na mesma quantidade em peso, ao solo a ser corrigido. Os tratamentos e a respectiva porcentagem das misturas entre carbonato de cálcio e o resíduo adicionada, em cada recipiente contendo solo, estão mostrados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Composição das misturas adicionadas ao solo para os diferentes tratamentos

Mistura ou tratamento	Carbonato de Cálcio	Resíduo
A	100%	-
B	75%	25%
C	50%	50%
D	25%	75%
E	-	100%

O resíduo (lodo inorgânico) usado no estudo, é gerado no ciclo de produção da sílica amorfa, que, por sua vez, é componente de uma série de produtos de consumo, como: vernizes, borrachas, tintas, dentífricos, alimentos, dentre outros. A composição básica do resíduo está ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2: Composição Média do Resíduo (base seca)

Constituinte	Valor
SiO ₂ (%)	88,0
CaSO ₄ (%)	3,0
NaSO ₄ (%)	8,5
NaCl (%)	0,5

O solo utilizado no experimento (Latossolo Vermelho distroférico) foi retirado de área do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, sendo um tipo de solo de intenso uso agrícola no Brasil. As características do resíduo (lodo inorgânico) e do solo, utilizados no experimento, estão mostradas na **Tabela 3**.

Tabela 3: Características do resíduo (lodo inorgânico) e do solo utilizados no experimento

Parâmetro	Unidade	Resíduo de Sílica Amorfa (lodo inorgânico)	Latossolo Vermelho distroférico
pH		8,2	5,5
Umidade	%	55,0	-
Fósforo	mg/dm ³	2,0	1,0
Potássio	mmol _c /dm ³	0,1	1,6
Cálcio	mmol _c /dm ³	1170,0	12,0
Magnésio	mmol _c /dm ³	24,0	4,0
Alumínio	mmol _c /dm ³	-	41,2
Acidez Potencial [H + Al]	mmol _c /dm ³	7,0	20,0
Soma de Bases	mmol _c /dm ³	1194,1	17,6
Capacidade. de Troca de Cátions	mmol _c /dm ³	1201,1	37,6
Saturação por Bases	-	-	46,0
PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total)	%	6,2	-

Resultados e discussão

Os resultados dos principais parâmetros avaliados no experimento estão mostrados nas **Figuras 1, 2, 3 e 4** que ilustram os efeitos dos tratamentos estudados sobre os atributos do solo: pH, acidez potencial, saturação por bases (V%) e CTC (capacidade de troca de cátions).

Considerando-se o objetivo deste trabalho, um dos principais parâmetros de avaliação do material como corretivo é o pH do solo, com a adição de resíduo, em substituição parcial ou total do corretivo utilizado como padrão de referência.

Com a **Figura 1** é possível visualizar o efeito dos tratamentos sobre o pH do solo. A adição do corretivo com carbonato de cálcio puro (A) apresentou-se mais eficiente na elevação do pH do solo do que as demais misturas (B, C e D). O corretivo com resíduo puro (E) também elevou esse índice. Este fato já era esperado pois o resíduo foi formado com adição de cal virgem, no processo produtivo, e embora a cal virgem pura possua um poder de neutralização de 125% do carbonato de cálcio, parte do Poder de Neutralização (PN) foi consumido para neutralizar o efluente líquido ácido gerado na produção da sílica amorfa. Por ser a cal utilizada em excesso durante a neutralização do efluente, existe, no material estudado, uma capacidade residual de elevação de pH.

Diante desse resultado, pode-se afirmar que, do ponto de vista apenas de elevação do pH do solo, a adição do resíduo de sílica amorfa é favorável à melhoria da fertilidade do solo. A razão é que a elevação do pH aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes para a planta, e reduz a toxidez por alumínio (GUILHERME et al., 1994)

O resultado apresentado na **Figura 1** evidencia que pode-se utilizar misturas próximas a 50% de resíduo e 50% de carbonato de cálcio (C), pois o resultado da elevação do pH é semelhante ao que ocorre com a adição de 100% de carbonato de cálcio, e em locais próximos à geração do resíduo, a mistura C apresentará vantagens competitivas de

custo, sobre o carbonato de cálcio.

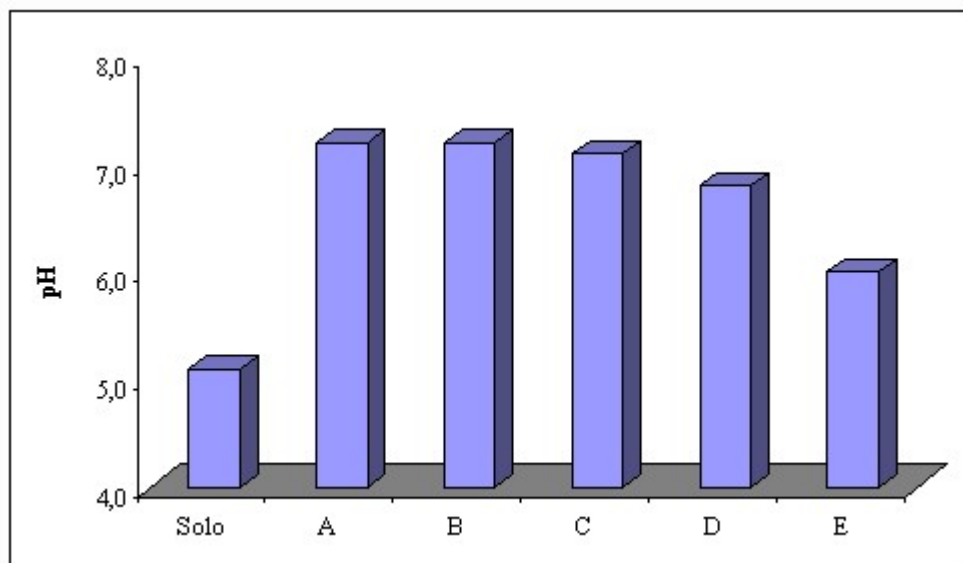


Figura 1: Efeito dos Tratamentos sobre o pH

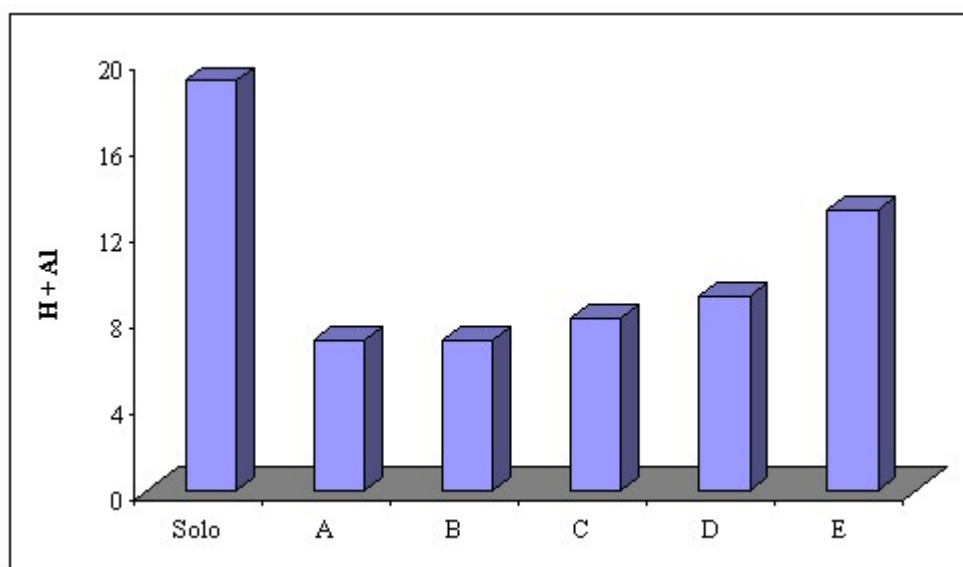


Figura 2: Efeito dos Tratamentos na Acidez Potencial ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)

Pode-se observar na **Figura 2** que a adição de carbonato de cálcio puro no solo provocou a redução da acidez potencial em cerca de 60%. Diante da substituição de parte do carbonato de cálcio por resíduo, observa-se a diminuição da influência na acidez potencial. A adição da mistura (E) com 100% de resíduo no solo possibilitou uma redução de 30% na acidez potencial do solo.

A **Figura 2** sugere que o potencial do resíduo em corrigir a acidez potencial não é tão eficiente quanto para corrigir o pH. Em pH acima de 6,0 o alumínio precipita-se na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. O Alumínio pode também precipitar-se formando o sulfato de alumínio. O sulfato presente no resíduo parece não influenciar a redução da atividade do alumínio, pois a acidez potencial do solo não sofreu tanta influência do resíduo, como sofreu com o carbonato de cálcio.

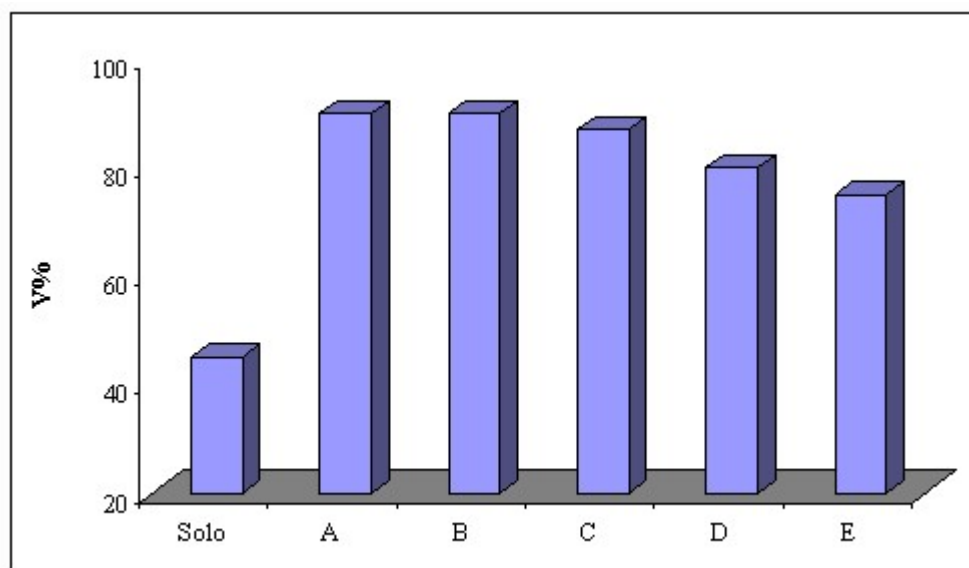


Figura 3: Efeito dos tratamentos sobre a Saturação por Bases

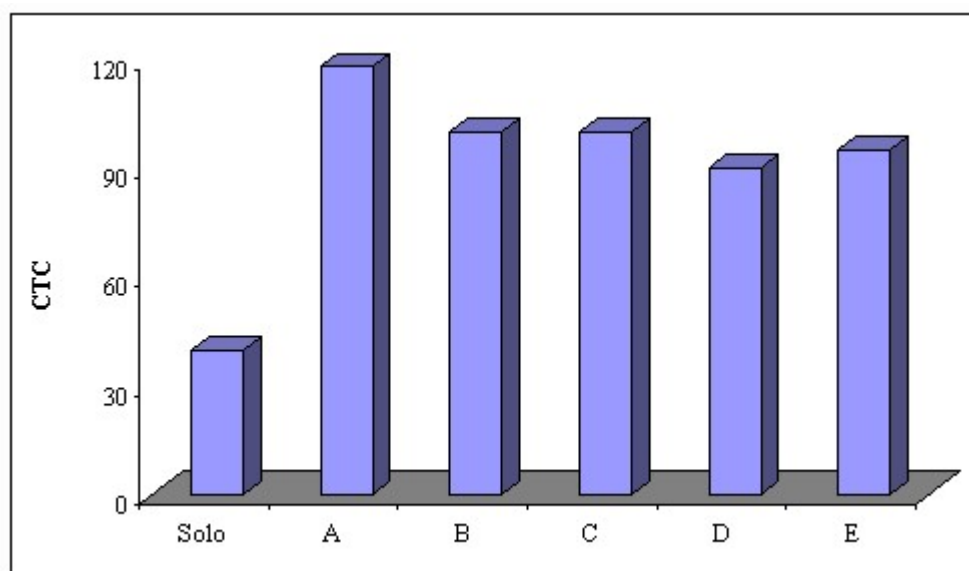


Figura 4: Efeito dos tratamentos sobre a CTC do solo (mmol_c dm⁻³)

A porcentagem de saturação por bases reflete quanto da CTC (a pH 7,0) do solo está ocupada por bases. A partir desse conceito, e observando a Figura 3, tem-se a indicação de que todos os tratamentos melhoram a condição do solo no que se refere a quantidade de bases. Os resultados analíticos mostram que para qualquer mistura adicionada ao solo a saturação por bases atinge valores acima da faixa considerada média pela literatura, que é de 51 a 70% (RAIJ et al., 1996).

Analisou-se a Capacidade de Troca de Cátions do solo nos diferentes tratamentos, pois a mesma é utilizada na avaliação da fertilidade do solo e porque buscou-se verificar se existe alguma influência da sílica amorfa no resultado da CTC do solo. A sílica amorfa possui a característica de ser altamente porosa, o que poderia influenciar na retenção de cátions em suas partículas. A CTC do solo é também influenciada pelo pH do mesmo. Conforme pode ser observado na Figura 4, houve aumento da CTC com a adição do resíduo de sílica amorfa. O mesmo ocorreu apenas com a adição de carbonato de cálcio (A) embora este não tenha a propriedade de ser poroso. Assim, sugere-se que o efeito sobre o aumento da CTC deveu-se à elevação do pH.

Conclusões

O experimento comparativo feito entre o resíduo de sílica amorfa e o carbonato de cálcio mostrou que o resíduo é capaz de melhorar a fertilidade do solo nos parâmetros: pH, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e porcentagem de saturação por bases.

Este estudo de caso indica perspectivas para que outros lodos inorgânicos, cujo efluente seja tratado com cal, possam ser potencializados como corretivo de solo agrícola. Os processos industriais que tiverem efluentes tratados com soda cáustica poderão também ser avaliados quanto ao potencial de substituição pelo cal com consequente aplicação do lodo inorgânico na agricultura.

O resíduo tem potencial para ser utilizado para correção de acidez de solo agrícola e, a mistura constituída de 50% de CaCO_3 (corretivo padrão) e 50% de resíduo (lodo inorgânico) foi a que apresentou oportunidade de exploração do resíduo com a maior eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, E. L. (2001). Potencialidade de utilização de resíduo da produção de sílica amorfa como corretivo de solo agrícola, Dissertação de Mestrado, Feagri, Unicamp, Campinas. 106 p.
2. FIGUEIREDO, P. J. M. A *Sociedade do Lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental*. 2a edição. Editora Unimep. Piracicaba, 1995
3. GUILHERME L. R. G., VALE F. R., GUEDES, G. A. (1994). *Fertilidade do Solo: Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes*, ESAL, Fund.de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Lavras.
4. MALAVOLTA, E. (1992). *Micronutrientes e Metais Pesados - Mitos, Mistificação e Fatos* Produquima – Piracicaba.
5. MATIAZZO-PREZOTTO, M. E. (1994). Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba, 197p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP.
6. RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. (1996). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, 2.ed., (Boletim Técnico, 100) Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 285p.
7. sma – secretaria do meio ambiente do estado de são paulo (1997). *Agenda 21: Conferência da Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo. 383 p.