



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

ARAÚJO, A. P.; PERLINGEIRO, B. M.
CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RETIRADOS DE SALINAS E POSSIBILIDADES
DE SEU USO COMO FERTILIZANTE
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 23, núm. 2, 1999, pp. 433-440
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218287027>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO VIII - FERTILIZANTES E CORRETIVOS

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RETIRADOS DE SALINAS E POSSIBILIDADES DE SEU USO COMO FERTILIZANTE⁽¹⁾

A. P. ARAÚJO⁽²⁾ & B. M. PERLINGEIRO⁽³⁾

RESUMO

A desativação de salinas em Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro, vem gerando grande quantidade de resíduos orgânicos, originados do acúmulo de algas marinhas. Em 1996, estudos realizados na UFRRJ avaliaram o potencial de aproveitamento desses resíduos como fertilizantes orgânicos. Amostras do resíduo apresentaram altos teores de Ca, Mg, K, Na e S, elevados valores de densidades aparente e real, retenção de água, pH e condutividade elétrica; 89% do conteúdo de Na encontrava-se em formas solúveis, possibilitando sua remoção por lavagens. Efetuou-se um ensaio para dessalinização do resíduo, quando aplicado ao solo arenoso local, em esquema fatorial 4 x 5: quatro misturas resíduo:solo (0:1, 1:100, 1:50 e 1:10 em peso), combinadas com cinco doses de gesso (0, 1/2, 1, 2 e 4 vezes a necessidade de gesso) com três repetições, sendo efetuadas sete aplicações de água. Na mistura 1:10, houve pequena percolação decorrente da grande viscosidade. Do total lixiviado de Ca, Mg e Na, 66, 86 e 98%, respectivamente, foram removidos nas duas primeiras lavagens. A adição do resíduo aumentou os teores de água, C, N, P, Ca e Mg das misturas ao final do ensaio, quando comparadas ao solo puro. O gesso não teve efeito na lixiviação do Na e no teor final de Na trocável. As lavagens removeram cerca de 90% do Na e reduziram a salinidade, mas as misturas mantiveram caráter sódico ao final do ensaio. A viabilidade de aproveitamento do resíduo está condicionada aos custos de seu tratamento, quando comparados à aquisição de outro adubo orgânico.

Termos de indexação: adubo orgânico, algas marinhas, gesso, salinidade, sódio.

⁽¹⁾ Executado por meio de contrato entre o Departamento de Solos da UFRRJ e AGM Empreendimentos Hoteleiros e Turísticos S.A. Apresentado na XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Manaus (MA), em 1996. Recebido para publicação em dezembro de 1997 e aprovado em dezembro de 1998.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: aparaujo@ufrj.br.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, AGM Empreendimentos Hoteleiros e Turísticos S.A. Rua da Ajuda, 35, 20º andar, CEP 20040-000 Rio de Janeiro (RJ).

SUMMARY: CHARACTERIZATION OF ORGANIC RESIDUES FROM SALTWORKS AND THEIR POTENTIAL USE AS FERTILIZER

Deactivation of saltworks in Cabo Frio, Rio de Janeiro, has been creating great amounts of organic residues originated from marine algae accumulation. Studies were carried out at the Soil Department of UFRRJ in 1996 to evaluate the potential for using such residues as organic fertilizers. Samples of the residue presented high contents of Ca, Mg, K, Na, S, and elevated values of bulk and real densities, water retention, pH and electrical conductivity; 89% of Na content was found in soluble forms, allowing its removal through leaching. An assay was conducted to desalinize the residues when applied to the local sandy soil, in a 4 x 5 factorial with 3 replicates: 4 residue:soil mixtures (0:1, 1:100, 1:50 and 1:10 w:w) combined with 5 gypsum levels (0, 1/2, 1, 2 and 4 times the gypsum requirement); water was applied 7 times. The great viscosity of 1:10 mixture almost impeded percolation. The two first washes removed 66, 86 and 98% of the total Ca, Mg and Na percolated, respectively. Residue application increased C, N, P, Ca, Mg, and water contents of mixtures at the end of the assay, as compared to pure soil. Gypsum had no effect on Na leaching and on final exchangeable Na. Leaching removed about 90% of Na and reduced salinity, but the mixtures maintained sodicity at the end of the assay. The viability of using organic residue from saltworks is conditioned to the reclamation costs, as compared to acquisition of other organic manure.

Index terms: gypsum, marine algae, organic manure, salinity, sodium.

INTRODUÇÃO

A desativação de salinas no município de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro, vem gerando grande quantidade de resíduos orgânicos, retirados dos reservatórios destinados à evaporação da água do mar. Tais resíduos originam-se da acumulação de algas marinhas cianofícias halofíticas, que colonizam e impermeabilizam o fundo dos reservatórios (Baeta Neves & Casarin, 1990) e produzem elevada biomassa em condições de salinidade e temperatura características das salinas (Baeta Neves, 1993). Baeta Neves & Casarin (1990) identificaram a predominância dos gêneros *Aphanothece* e *Aphanocapsa* nos reservatórios de alta salinidade em Cabo Frio.

As algas são usadas como fontes de alimentos para o homem e animais e servem de matéria-prima para indústrias de medicamentos, pigmentos e ágar (Levring et al., 1969). A indústria de obtenção de sais de sódio e potássio de cinzas de algas marinhas vem operando com interrupções desde meados do século XVIII (Volesky et al., 1970) e, no século XIX, as algas marinhas eram a principal fonte de iodo (Levring et al., 1969). Algas marinhas também são usadas como fertilizantes, pois vários elementos são encontrados em quantidades suficientes para tornar efetivo seu aproveitamento (Volesky et al., 1970). Entretanto, nestas explorações, em geral, são usadas algas frescas recém-coletadas.

A atividade de extração de sal em Cabo Frio remonta a 1824, quando da instalação das Salinas

Perinas (IBGE, 1956). Dessa forma, o resíduo orgânico de áreas de salinas tem-se acumulado em longos períodos de tempo na área em estudo. Em virtude do ambiente em que transcorreu sua gênese, é esperado que esse resíduo apresente elevados teores de sais. Seu possível aproveitamento como fertilizante orgânico ou condicionador de solo deve considerar os riscos de salinização ou poluição quando da sua aplicação ao solo. O solo predominante no local das salinas desativadas, horizonte subsuperficial de Areias Quartzosas exposto por serviços de terraplenagem, apresenta condições inadequadas para o crescimento vegetal e poderia beneficiar-se da aplicação destes resíduos. Além disso, na região, são elevados os custos de aquisição e transporte de fertilizantes orgânicos.

A recuperação de solos sódicos requer que o Na seja removido por outro cátion, e os sais solúveis retirados por lavagens, para fora da zona de crescimento radicular, sendo o gesso o corretivo mais comumente utilizado (Abrol et al., 1975; Alcordo & Rechcigl, 1993). Não se dispõe de informações na literatura para o tratamento de resíduos orgânicos de área de salinas. Observações práticas demonstram que existem dificuldades no manejo desse resíduo orgânico. Após retirado da salmoura, o resíduo forma placas espessas e endurecidas, exigindo uma moagem para seu manuseio; o material, após moído, volta a aglomerar-se quando reidratado. Sendo assim, seria pequena a eficiência do tratamento do resíduo com gesso e lavagens antes de sua aplicação ao solo, considerando a viscosidade

do material quando úmido e a necessidade de nova moagem ao final do processo. Possível procedimento de manejo seria a moagem do resíduo, sua aplicação ao solo na área de interesse em conjunto com o gesso e a lavagem até remoção do sódio, possibilitando o tratamento conjunto do resíduo e do solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento, como fertilizante, de resíduos orgânicos de áreas de salinas de Cabo Frio, por meio de análises de caracterização do material em seu estado natural e após seu tratamento para remoção do excesso de sais, quando misturado ao solo local.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do resíduo orgânico

Os resíduos orgânicos em estudo foram obtidos em áreas desativadas das Salinas Perinas, no município de Cabo Frio, ao longo da lagoa de Araruama (22°53' S, 42°01' W). Parte do resíduo orgânico encontrava-se depositada no fundo das salinas recentemente desativadas, em locais que não sofreram serviços de terraplenagem, apresentando aspecto gelatinoso. Outra parte estava acumulada em pilhas ao ar livre, após sua retirada do fundo das salinas, onde o material apresentava-se ressecado e endurecido. Em agosto de 1995, foram obtidas duas amostras compostas do resíduo: a amostra 1, coletada nas pilhas do material estocado, e a amostra 2, coletada no fundo de salinas recentemente drenadas, ainda sob efeito da salmoura. Dessa forma, buscou-se avaliar se o armazenamento do material ao ar livre alterou suas propriedades físicas e químicas. As amostras foram secas ao ar e encaminhadas para análises, efetuadas no Campus Dr. Leonel Miranda da UFRRJ, em Campos, RJ.

O material orgânico, por apresentar propriedades desconhecidas, foi analisado sob três pontos de vista: como solo, determinando-se os teores de nutrientes disponíveis, após extração com soluções de ácidos e sais fracos (EMBRAPA, 1979); como fertilizante orgânico, quantificando-se os teores de nutrientes totais e de alguns metais pesados, após digestão nitroperclórica e dosagem colorimétrica ou por absorção atômica (Malavolta et al., 1989); e como produto com efeito salinizador, analisando-se os teores de sais solúveis (EMBRAPA, 1979). A obtenção do extrato de saturação foi difícil, pela viscosidade do resíduo quando reidratado, efetuando-se a determinação dos cátions solúveis e condutividade elétrica no extrato aquoso 1:5 (resíduo:água p.v, EMBRAPA, 1979). Tal procedimento só foi possível na amostra 2. Análises físicas de granulometria, densidade aparente (pelo método do torrão), densidade real e de umidade residual (EMBRAPA, 1979) também foram efetuadas.

Ensaio de dessalinização do resíduo

Amostras representativas do solo local (horizonte subsuperficial de Areias Quartzosas Marinhas) e do resíduo orgânico armazenado em pilhas foram coletadas e secas ao ar, sendo o resíduo triturado em moinho de rotor com martelos fixos e malha de 2 mm. O solo apresentava 8,4% de frações grosseiras, constituídas basicamente de pedaços de conchas. O solo e o resíduo foram caracterizados quanto às suas propriedades físicas e de fertilidade (EMBRAPA, 1979), sendo a densidade aparente determinada pelo método da proveta. A necessidade de gesso do solo e do resíduo foi determinada pelo método de Schoonover modificado por Barros & Magalhães (1989), em que os teores de Ca e Mg obtidos em extrato com água deionizada foram subtraídos dos teores de Ca e Mg no extrato com solução saturada de CaSO_4 . O procedimento usual produziu resultados negativos de necessidade de gesso, o que pode ocorrer em solos com altos teores de Ca e Mg solúveis (Barros & Magalhães, 1989).

Foi desenvolvido um ensaio laboratorial no Departamento de Solos da UFRRJ, em esquema fatorial 4 x 5 com três repetições, em distribuição completamente casualizada. Foram preparadas quatro misturas resíduo:solo (em peso): 0:1, 1:100, 1:50 e 1:10, combinadas com cinco doses de gesso: 0, 1/2, 1, 2 e 4 vezes a necessidade de gesso, definida para cada mistura resíduo:solo. Foram pesadas separadamente as quantidades de resíduo, solo e gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.) de cada vaso, totalizando 4 kg, que foram misturadas homogeneamente. Cada mistura foi colocada em cilindro de PVC com 15 cm de diâmetro, cuja base foi coberta com gaze. Em cada cilindro, foi colocado 0,5 L de água deionizada, deixando-se o material em repouso por 10 dias.

Em cada cilindro, foram efetuadas sete aplicações de 1 L de água deionizada, correspondendo a quatro vezes o volume total de poros, em intervalos de cinco dias. O lixiviado de cada cilindro foi recolhido e diluído para 1 L, sendo dosados os teores de Ca e Mg (por complexometria) e de Na (por fotometria de chama). A mistura 1:10 apresentou grande viscosidade após reidratada, o que virtualmente impediu a drenagem, tendo sido efetuadas apenas quatro coletas do lixiviado. Após 48 h da última aplicação de água, foi determinado o teor de água em cada cilindro, e o material foi seco ao ar e destorroadado, efetuando-se análises de fertilidade e de condutividade elétrica (EMBRAPA, 1979).

Os dados de teores de íons no lixiviado foram submetidos a análise de variância, avaliando-se os efeitos de coleta (como subparcela), mistura resíduo:solo, dose de gesso, e suas interações, sendo o tratamento 1:10 excluído. Para as análises do material ao final do ensaio e para as somas dos teores de íons no lixiviado, a análise de variância avaliou os efeitos da mistura resíduo:solo, dose de gesso e sua interação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do resíduo orgânico

O resíduo orgânico de áreas de salinas tem-se acumulado em longos períodos de tempo na área em estudo e parece constituir-se de matéria orgânica estabilizada. Dessa forma, os resultados obtidos foram comparados preferencialmente com análises de turfas compiladas na literatura.

O resíduo orgânico apresentou altos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis e totais, elevado pH e ausência de Al e H (Quadro 1). O teor de S disponível também foi alto, denotando a acumulação de materiais sulfídricos causada pela influência marinha na gênese do resíduo. A saturação por Na e a condutividade elétrica foram muito elevadas (Quadro 1), pois valores superiores a 15% e 4 dS m⁻¹, respectivamente, caracterizam solos salino-sódicos (James et al., 1982). Os teores de Ca, Mg, K e Na no extrato 1:5 também foram elevados (Quadro 1), valores similares aos observados em extratos de saturação de solos salino-sódicos (James et al., 1982). Dessa forma, o resíduo pode ser considerado salino-sódico.

Uma comparação entre os teores trocáveis e totais de Ca, Mg e Na (Quadro 1) indica que, na amostra 1, cerca de 6, 21 e 89% destes íons, respectivamente, encontram-se em formas trocáveis, não constituindo parte dos tecidos das algas marinhas que deram origem ao resíduo. O elevado valor T (Quadro 1), muito acima do usualmente observado em turfas, da ordem de 80 cmol_c kg⁻¹ (Kiehl, 1985), indica novamente que grande parte desses cátions não se encontra adsorvida no complexo sortivo do material orgânico, mas sim na forma de sais solúveis, daí a perspectiva de tratamento do resíduo por meio da lavagem para retirada desses íons – particularmente do Na – e diminuição do risco de salinização.

Os valores de densidade aparente e densidade real do resíduo (Quadro 1) estão muito acima dos observados em turfas, da ordem de 1,0 e 1,5 g cm⁻³, respectivamente (Kiehl, 1985), o que pode ser devido à expressiva presença de sais na composição do resíduo. O predomínio da fração areia (Quadro 1) indica que seu manuseio poderá ser facilitado pela maior friabilidade conferida ao material.

As diferenças nos resultados das análises da amostra 1 (retirada das pilhas do material estocado) e da amostra 2 (retirada de salinas recentemente drenadas) são relevantes. A amostra 1 apresentou menor pH e menores teores de formas trocáveis e totais de Ca, Mg e Na (Quadro 1), indicando que o armazenamento do material ao ar livre, sujeitando-o às precipitações naturais, contribuiu para a diminuição dos teores de sais. Ao mesmo tempo, aumentaram na amostra 1 os teores de C, N e P totais (Quadro 1), demonstrando ter a lavagem do material aumentado a concentração relativa da matéria orgânica

Quadro 1. Características físicas e químicas de amostras do resíduo orgânico de áreas de salinas (amostra 1, coletada em pilhas ao ar livre; amostra 2, coletada no fundo de salinas)

| Análise | Amostra 1 | Amostra 2 |
|--|-----------|-----------|
| Análises físicas | | |
| Areia (kg kg ⁻¹) | 0,77 | 0,48 |
| Silte (kg kg ⁻¹) | 0,15 | 0,46 |
| Argila (kg kg ⁻¹) | 0,08 | 0,06 |
| Umidade residual a 105°C (g kg ⁻¹) | 77 | 157 |
| Densidade aparente (g cm ⁻³) | 1,52 | 1,01 |
| Densidade real (g cm ⁻³) | 2,32 | 2,34 |
| Porosidade total (cm ³ cm ⁻³) | 0,34 | 0,57 |
| Análises de fertilidade | | |
| pH em água | 8,3 | 8,9 |
| pH em KCl | 8,4 | 9,0 |
| pH em CaCl ₂ | 8,4 | 9,0 |
| Ca trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 30,0 | 91,6 |
| Mg trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 29,6 | 70,9 |
| K trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 3,5 | 13,9 |
| Na trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 150 | 640 |
| H + Al (cmol _c kg ⁻¹) | 0,0 | 0,0 |
| Valor T (cmol _c kg ⁻¹) | 213,1 | 816,4 |
| Saturação por Na (%) | 70 | 78 |
| P disponível (mg kg ⁻¹) | 3 | 1 |
| S disponível (mg kg ⁻¹) | 8,9 | 26,9 |
| C orgânico (g kg ⁻¹) | 97,5 | 59,7 |
| Teores totais de macronutrientes e de Na (g kg⁻¹) | | |
| N | 8,8 | 4,7 |
| P | 0,4 | 0,2 |
| K | 2,4 | 3,5 |
| Ca | 107,1 | 165,9 |
| Mg | 16,8 | 12,6 |
| Na | 38,7 | 118,5 |
| Teores totais de micronutrientes e de metais pesados (mg kg⁻¹) | | |
| Cu | 20 | 16 |
| Fe | 2.340 | 920 |
| Mn | 248 | 172 |
| Zn | 30 | 26 |
| Cd | 24 | 30 |
| Cr | 40 | 40 |
| Pb | 64 | 80 |
| Análises no extrato 1:5 resíduo:água | | |
| Condutividade elétrica (dS m ⁻¹) | n.d. | 9,1 |
| Ca + Mg solúveis (mmol L ⁻¹) | n.d. | 32 |
| K solúvel (mmol L ⁻¹) | n.d. | 0,47 |
| Na solúvel (mmol L ⁻¹) | n.d. | 44,9 |

n.d. não-determinado.

estrutural. Entretanto, o material estocado em pilhas ficou mais compactado (Quadro 1) e endurecido.

Os teores de C, N e P totais foram relativamente baixos (Quadro 1), similares aos valores mínimos de concentrações desses nutrientes em turfas (Kiehl, 1985). A baixa relação C:N do resíduo (11 e 13 nas amostras 1 e 2) poderia indicar sua rápida mineralização no solo; entretanto, como parece constituir-se de matéria orgânica estruturada, sua decomposição no solo deve ser lenta. O N encontrado nas algas marinhas não está prontamente

disponível, requerendo um período de tempo para liberação no solo, o que tornaria as algas marinhas fertilizantes de ação mais longa (Volesky et al., 1970). Substâncias húmicas de origem marinha mostraram valores de relação C:N inferiores aos das substâncias húmicas do solo, indicando diferenças em sua natureza química (Anderson et al., 1989).

De acordo com Kiehl (1985), as turfas tornam-se economicamente interessantes quando o teor de matéria orgânica está acima de 40%, valor bem superior aos 17% da amostra 1 (Quadro 1). Dessa forma, o potencial do resíduo como adubo orgânico não é muito elevado, mas sua aplicação na dose de 40 t ha⁻¹ contribuiria com a adição de 352 kg ha⁻¹ de N, 16 kg ha⁻¹ de P e 96 kg ha⁻¹ de K, valores significativos em termos de necessidades das culturas. De modo geral, as algas marinhas apresentam bons teores de N e K mas baixos teores de P, quando consideradas como adubo orgânico (Volesky et al., 1970).

O resíduo orgânico apresentou teores de alguns metais pesados inferiores aos verificados em resíduos de esgotos urbanos (Quadro 1; Hyatt, 1995). Tais teores, à exceção do cádmio, são inferiores aos níveis máximos em que resíduos de esgotos podem ser utilizados sem restrições (Hyatt, 1995). Apesar da alta concentração de cádmio, a aplicação do resíduo no solo poderá causar diluição desse elemento, reduzindo-se o risco de poluição. Hyatt (1995) defende que a aplicação de compostos de esgoto urbano em doses usuais na agricultura não implica acumulação de metais pesados em níveis tóxicos ao ambiente, com as concentrações finais de metais refletindo a diluição do composto no solo. Apesar disto, estudos complementares devem ser conduzidos para avaliar o efeito de aplicações sucessivas do resíduo orgânico de salinas nos teores de metais pesados no solo.

Dessalinização do resíduo orgânico

Características do solo e do resíduo - As análises efetuadas no solo existente no local indicam tratar-se de um substrato com características físicas e químicas inadequadas ao crescimento vegetal (Quadro 2). A textura extremamente arenosa tem como consequência uma baixa capacidade de retenção de umidade, e a ausência de estruturação acarreta porosidade total reduzida. Os teores de matéria orgânica foram muito baixos, assim como os teores de P disponível e de N total. Além disto, o solo apresentou caráter salino-sódico, com elevados pH, condutividade elétrica e saturação por sódio, o que demanda altos valores de necessidade de gesso (Quadro 2).

As análises do resíduo orgânico registraram pequenas variações em relação àquelas anteriormente efetuadas na amostra 1 (Quadros 1 e 2). A elevada umidade equivalente demonstra que

Quadro 2. Características físicas e químicas do solo e do resíduo orgânico de áreas de salinas

| Característica | Solo | Resíduo |
|--|------|---------|
| Areia (kg kg ⁻¹) | 0,99 | n.d. |
| Argila (kg kg ⁻¹) | 0,01 | n.d. |
| Umidade residual a 70 °C (g kg ⁻¹) | n.d. | 103 |
| Umidade residual a 105 °C (g kg ⁻¹) | 18 | 155 |
| Umidade equivalente (g kg ⁻¹) | 26 | 2.950 |
| Densidade aparente (g cm ⁻³) | 1,70 | 0,84 |
| Densidade real (g cm ⁻³) | 1,89 | 2,36 |
| Porosidade total (cm ³ cm ⁻³) | 0,10 | 0,64 |
| pH em água | 8,0 | 8,1 |
| C orgânico (g kg ⁻¹) | 1,1 | 80,3 |
| N total (g kg ⁻¹) | 0,04 | 9,22 |
| Ca trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 1,4 | 10,1 |
| Mg trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 0,9 | 15,5 |
| K trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 2,8 | 20,3 |
| Na trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 94 | 488 |
| H + Al (cmol _c kg ⁻¹) | 0,0 | 0,0 |
| Valor T (cmol _c kg ⁻¹) | 99,1 | 534 |
| Saturação por Na (%) | 95 | 91 |
| P disponível (mg kg ⁻¹) | 1 | 54 |
| Condutividade elétrica (dS m ⁻¹) | 11,1 | 8,3 |
| Necessidade de gesso (cmol _c kg ⁻¹) | 4,8 | 10,8 |

n.d. não-determinado.

o resíduo é capaz de armazenar até três vezes o seu peso em água. O resíduo apresentou caráter salino-sódico, com elevados valores de pH, condutividade elétrica e saturação por sódio (Quadro 2). A grande necessidade de gesso permite estimar mais de 200 t do corretivo para o tratamento de cerca de 30.000 m³ de resíduos estocados no local. Esse elevado requerimento de gesso não é incomum, visto que Alcorido & Rechcigl (1993) relataram aplicações de até 18 t ha⁻¹ de gesso, na Austrália, e 32 t ha⁻¹, na Índia, na recuperação de solos sódicos. Os valores de C orgânico e N total foram baixos, enquanto os teores de Ca, Mg e Na trocáveis elevados (Quadro 2). Os altos teores de Na acarretaram grande viscosidade no material quando reidratado, o que virtualmente impediu a drenagem na mistura 1:10. Portanto, percebe-se grande limitação na aplicação do resíduo em doses superiores a 100 t ha⁻¹, caso não haja remoção de parte do Na.

Análises do lixiviado - Os teores de Ca, Mg e Na no lixiviado decaíram acentuadamente com as coletas, tendo sido retirados 66, 86 e 94% do total lixiviado destes íons, respectivamente, já nas duas primeiras coletas (Quadro 3). A remoção do Ca foi mais lenta, pela solubilização gradual do gesso adicionado. Como grande parte dos cátions foi removida nas duas primeiras lavagens, uma lâmina de água de 120 mm seria suficiente para redução da salinidade. Entretanto, em condições de campo, é necessário considerar a evapotranspiração, e a quantidade de água a ser aplicada para remoção dos

sais deverá ser superior. Além disto, no ensaio, o resíduo orgânico apresentava uma granulometria mais fina do que aquela provavelmente obtida com a moagem em condições de campo, e a eficiência do processo de lavagem poderá ser menor. Deve-se ainda considerar qual a profundidade do solo que se deseja livre dos sais, característica que influencia a lâmina de água a ser aplicada (James et al., 1982).

O gesso não teve efeito na quantidade total de Na lixiviado (Quadro 4). Como a principal função do gesso é deslocar o Na adsorvido no complexo sortivo para sua posterior remoção por lavagens (Abrol et al., 1975), a falta de efeito do corretivo confirma que o Na está predominantemente na forma de sais solúveis, e não adsorvido no solo ou no resíduo. Houve incremento do total de Ca lixiviado com o aumento na dose de gesso (Quadro 4), pela adição de Ca ao sistema. O gesso causou um aumento na lixiviação do Mg nas misturas 1:50 e 1:100 (dados não apresentados), indicando o efeito do corretivo na remoção do Mg presente no resíduo. A lixiviação de Mg foi superior nas misturas 1:50 e 1:100 do que no solo puro, ao contrário do observado com o Ca (Quadro 4), o que indica uma adsorção preferencial do Ca em relação ao Mg no resíduo orgânico. Isto pode ser atribuído à maior força de adsorção do Ca^{2+} sobre o Mg^{2+} nos colóides do solo ou à maior estabilidade dos complexos formados entre substâncias húmicas com o Ca^{2+} do que com o Mg^{2+} (Stevenson & Fitch, 1986).

Análises dos materiais após lavagem - Na análise estatística, a ausência da interação mistura resíduo:solo e dose de gesso (exceto para N total, Ca trocável e pH), mostra que os tratamentos tiveram efeitos independentes. A aplicação de gesso não influenciou nos teores de água, C orgânico, P disponível e K trocável ao final do ensaio, o que seria esperado (Quadro 5). O gesso também não modificou o teor

Quadro 4. Conteúdos totais de Ca, Mg e Na lixiviados (soma das sete coletas do lixiviado), em função da mistura resíduo:solo e da dose de gesso

| Tratamento | Ca | Mg | Na |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------|-------|
| | ----- cmol _c /vaso ----- | | |
| Mistura resíduo:solo | | | |
| Mistura 1:10 | 20,6 c | 42,7 b | 257 c |
| Mistura 1:50 | 50,1 b | 51,1 a | 445 b |
| Mistura 1:100 | 47,6 b | 52,7 a | 731 a |
| Solo puro | 63,0 a | 39,9 b | 488 b |
| Dose de gesso | | | |
| 0 NG ⁽¹⁾ | 17,7 e | 44,1 a | 493 a |
| 1/2 NG | 26,0 d | 44,2 a | 457 a |
| 1 NG | 31,2 c | 44,1 a | 533 a |
| 2 NG | 59,7 b | 52,3 a | 516 a |
| 4 NG | 92,1 a | 48,4 a | 403 a |

⁽¹⁾ NG: Necessidade de gesso.

Médias seguidas por letras diferentes, dentro do mesmo fator (mistura resíduo:solo ou dose de gesso), diferem entre si (teste Tukey 5 %).

de Na trocável, indicando que sua aplicação não contribuiu para a remoção do Na no solo e no resíduo. As dosagens mais altas de gesso elevaram o Ca trocável e diminuíram o Mg trocável, confirmando sua ação na remoção do Mg. Na maior dose de gesso, observou-se aumento na condutividade elétrica, pela maior presença de íons no meio, bem como redução do pH (Quadro 5).

A adição do resíduo aumentou os teores de C e de N totais, de P disponível, e de Ca e Mg trocáveis nas misturas ao final do ensaio, quando comparada ao solo puro (Quadro 5). Esta seria uma indicação de efeitos benéficos de sua aplicação ao solo muito pobre existente no local, aumentando os teores de matéria orgânica e de nutrientes. Na mistura 1:10, verificou-se um efeito prejudicial do resíduo, pelos aumentos nos teores de Na e na condutividade elétrica, mas isto foi devido à pequena drenagem neste tratamento, que impediu a remoção dos sais. Entretanto, nesta dose, o resíduo diminuiu o pH do solo (Quadro 5), ou seja, as maiores adições de matéria orgânica reduziram a alcalinidade do solo.

Apesar do aumento dos teores de matéria orgânica e nutrientes com a adição do resíduo, as misturas 1:50 e 1:100 ainda apresentaram teores muito baixos de C, N e P (Quadro 5), o que demanda adubação mineral e, ou, orgânica complementar. Cabe ressaltar a contribuição do resíduo na elevação do teor de água ao final do ensaio (Quadro 5), além de originar um princípio de estruturação do solo, com torrões formados nas misturas após secagem ao ar. Em solos arenosos, a adição de algas marinhas acarreta melhoria na estrutura e na retenção de água, conseqüência da natureza gelatinosa e dos altos conteúdos de polissacarídeos de seus tecidos (Volesky et al., 1970).

Quadro 3. Conteúdos de Ca, Mg e Na em diferentes coletas do lixiviado, obtido após aplicação de água nas misturas resíduo:solo (exclui mistura 1:10)

| Coleta | Ca | Mg | Na |
|--------|-------------------------|--------|--------|
| | cmol _c /vaso | | |
| 1 | 23,6 a | 34,4 a | 502 a |
| 2 | 11,9 b | 6,7 b | 36,8 b |
| 3 | 6,8 c | 2,3 c | 6,9 c |
| 4 | 4,3 d | 1,2 d | 2,5 c |
| 5 | 2,8 e | 1,1 d | 1,5 c |
| 6 | 2,2 f | 1,0 d | 1,3 c |
| 7 | 1,9 f | 1,1 d | 1,3 c |
| Total | 53,6 | 47,9 | 576 |

Valores seguidos por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si (teste Tukey 5 %).

Quadro 5. Efeito das misturas resíduo:solo e das doses de gesso nos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis, P disponível, C orgânico, N total, pH, condutividade elétrica e umidade gravimétrica, determinados após lavagens para remoção dos sais

| Tratamento | Ca trocável | Mg trocável | K trocável | Na trocável | P disponível | C orgânico | N total | pH | Condutiv. elétrica | Teor de água |
|----------------------|------------------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|------------|-------|-----------------------|--------------------|
| | cmol _c kg ⁻¹ | | | | mg kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | | | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ |
| Mistura resíduo:solo | | | | | | | | | | |
| Mistura 1:10 | 2,3 a | 2,8 a | 2,73 a | 59,9 a | 24,1 a | 11,6 a | 0,51 a | 8,8 b | 4,5 a | 458 a |
| Mistura 1:50 | 1,8 b | 0,9 b | 1,20 b | 10,5 b | 11,0 b | 3,7 b | 0,15 b | 9,1 a | 1,0 b | 271 b |
| Mistura 1:100 | 1,6 c | 0,7 b | 0,74 b | 8,9 b | 10,3 b | 3,0 b | 0,12 b | 9,1 a | 0,8 b | 276 b |
| Solo puro | 1,0 d | 0,2 c | 0,60 b | 7,3 b | 7,4 c | 0,8 c | 0,04 c | 9,1 a | 0,3 b | 209 c |
| Dose de gesso | | | | | | | | | | |
| 0 NG ⁽¹⁾ | 1,4 c | 1,2 ab | 1,30 a | 20,0 a | 12,8 a | 4,0 a | 0,19 a | 9,2 a | 1,2 b | 301 a |
| 1/2 NG | 1,4 c | 1,4 a | 1,36 a | 23,4 a | 12,7 a | 4,8 a | 0,23 a | 9,1 a | 1,4 b | 318 a |
| 1 NG | 1,5 c | 1,3 a | 1,42 a | 23,3 a | 14,1 a | 4,4 a | 0,23 a | 9,1 a | 1,5 b | 331 a |
| 2 NG | 1,8 b | 1,1 ab | 1,09 a | 20,9 a | 12,4 a | 5,0 a | 0,19 a | 9,1 a | 1,4 b | 299 a |
| 4 NG | 2,2 a | 0,8 b | 1,42 a | 20,7 a | 14,0 a | 5,6 a | 0,19 a | 8,7 b | 2,5 a | 292 a |

⁽¹⁾ NG: Necessidade de gesso.

Médias seguidas por letras diferentes, dentro do mesmo fator (mistura resíduo:solo ou dose de gesso), diferem entre si (Tukey a 5%).

A eficiência do processo de dessalinização pode ser avaliada a partir da comparação entre os teores iniciais de elementos presentes nas misturas e os teores finais após a conclusão do ensaio. Verifica-se que, na mistura 1:50 por exemplo, 42, 25, 61 e 90% do teores iniciais de Ca, Mg, K e Na, respectivamente, foram removidos pelas lavagens. Apesar da eficiência do processo de lavagem do Na, as misturas ainda apresentaram caráter sódico ao final do ensaio, com saturação por Na acima de 70 %, mas o caráter salino foi eliminado, com condutividade elétrica inferior a 1 dS m⁻¹ (Quadro 5). Embora o gesso não tenha sido eficiente na remoção inicial dos sais, ainda persistiram no solo e no resíduo teores nocivos de Na, que poderiam ser posteriormente removidos com a aplicação de algum corretivo.

Os resultados evidenciam que o resíduo orgânico de áreas de salinas apresenta qualidade inferior à das turfas, além de apresentar risco de salinização se aplicado ao solo. Sua utilização em solos de melhor fertilidade natural não seria recomendável, sendo pequena a viabilidade de seu aproveitamento comercial. Por outro lado, sua aplicação ao solo extremamente arenoso do local causou melhoria nas condições físicas e de fertilidade, após lavagens do excesso de sais, podendo-se recomendar seu aproveitamento nessas condições. Entretanto, os altos teores de Na no resíduo e sua grande plasticidade após reidratado limitam sua aplicação em doses elevadas.

A melhor alternativa tecnológica para o manejo do resíduo seria espalhar o material para permitir a ação das chuvas, reduzindo-se os teores de sais antes de sua moagem, o que permitiria sua aplicação em doses mais elevadas no solo. Isto possibilitaria que o resíduo sofresse alguma decomposição aeróbia,

estabilizando-se suas propriedades físicas e químicas, pois o excesso de sais nas algas marinhas pode ser reduzido por um processo de compostagem (Volesky et al., 1970). A viabilidade de aproveitamento do resíduo está condicionada ao custo do processo de moagem e tratamento do material, em comparação com a aquisição e transporte de outro adubo orgânico disponível na região.

CONCLUSÕES

1. O resíduo orgânico de áreas de salinas apresenta marcado caráter salino-sódico, mas grande parte do Na encontra-se em formas solúveis, sendo possível sua remoção por meio de lavagens.
2. A aplicação de gesso não contribuiu com a remoção do Na, e este corretivo pode ser dispensado numa fase preliminar de tratamento do resíduo.
3. O resíduo apresenta baixos teores de C, N e P, com pequena viabilidade de aproveitamento comercial, mas sua aplicação causou melhorias nas condições físicas e de fertilidade do solo arenoso do local, indicando sua utilidade como adubo orgânico e condicionador de solo.

LITERATURA CITADA

- ABROL, I.P.; DAHIYA, I.S. & BHUMBLA, D.R. On the method of determining gypsum requirement of soils. *Soil Sci.*, 120:30-36, 1975.
- ALCORDO, I.S. & RECHCIGL, J.E. Phosphogypsum in agriculture: a review. *Adv. Agron.*, 49:55-118, 1993.

- ANDERSON, H.A.; BICK, W.; HEPBURN, A. & STEWART, M. Nitrogen in humic substances. In: HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. & SWIFT, R.S., eds. Humic substances II: In search of structure. Chichester, John Wiley, 1989. p.223-253.
- BAETA NEVES, M.H.C. & CASARIN, A.J. As cianofíceas das salinas de Cabo Frio - Brasil. *Acta Biol. Leopold.*, 12:99-123, 1990.
- BAETA NEVES, M.H.C. Estudo do crescimento de uma cianofícea (*Chroococcale*) halofílica em função da temperatura e da salinidade. *Acta Biol. Leopold.*, 15:119-132, 1993.
- BARROS, M.F.C. & MAGALHÃES, A.F. Avaliação de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:119-123, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. não paginado.
- HYATT, G.W. Economic, scientific, and infrastructure basis for using municipal composts in agriculture. In: KARLEN, D.L.; WRIGHT, R.J. & KEMPER, W.O., eds. Agricultural utilization of urban and industrial by-products. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.19-72.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Anuário Geográfico do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, IBGE, 1956.
- JAMES, D.W.; HANKS, R.J. & JURINAK, J.J. Modern irrigated soils. New York, John Wiley, 1982. 235p.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo, Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LEVRING, T.; HOPPE, H.A. & SCHIMD, O.J. Marine algae: A survey of research and utilization. Hamburg, Cram De Gruyter, 1969. 421p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1989. 201p.
- STEVENSON, F.J. & FITCH, A. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M., eds. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, SSSA, 1986. p.29-58.
- VOLESKY, B.; ZAJIC, J.E. & KNETTIG, E. Algal products. In: ZAJIC, J.E., ed. Properties and products of algae. New York, Plenum, 1970. p.49-82.