

**RICARDO ANDRADE WANDERLEY**

**SALINIZAÇÃO DE SOLOS SOB APLICAÇÃO DE REJEITO DE  
DESSALINIZADORES COM E SEM ADIÇÃO DE  
FERTILIZANTES**

**RECIFE**

**PERNAMBUCO - BRASIL**

**2009**

**RICARDO ANDRADE WANDERLEY**

**SALINIZAÇÃO DE SOLOS SOB APLICAÇÃO DE REJEITO DE  
DESSALINIZADORES COM E SEM ADIÇÃO DE  
FERTILIZANTES**

Orientador:

Prof.<sup>a</sup> Maria de Fatima Cavalcante Barros, D.S.

Co-orientador:

Prof. Enio Farias de França e Silva, D.S

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola da Universidade de Federal Rural de  
Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

**RECIFE**

**PERNAMBUCO - BRASIL**

**2009**

**Ricardo Andrade Wanderley**

**SALINIZAÇÃO DE SOLOS SOB APLICAÇÃO DE REJEITO DE  
DESSALINIZADORES COM E SEM ADIÇÃO DE  
FERTILIZANTES**

Dissertação defendida e aprovada no dia 29 de Julho de 2009 pela Banca Examinadora:

Orientador:

---

Maria de Fatima Cavalcanti Barros, Ds

DTR-UFRPE

Examinadores:

---

Hans Raj Ghyei, Ds

CTRN-UFCG

---

Ênio Farias de França e Silva, Ds

DTR-UFRPE

---

Tales Miler Soares

CCAAB-UFRB

## SUMÁRIO

<b>Resumo .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Introdução Geral.....</b>	<b>6</b>
<b>Literatura citada .....</b>	<b>9</b>
<b>1. CAPÍTULO I – Revisão de literatura .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Formação de solos afetados por sais.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Classificação de solos afetados por sais .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Balanço de sais no solo.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4. Literatura citada .....</b>	<b>20</b>
<b>2. CAPÍTULO II – Aplicação de rejeitos de dessalinizador e hidroponia sobre     composição química do extrato de saturação do solo.....</b>	<b>24</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>25</b>
Abstract.....	26
INTRODUÇÃO .....	27
MATERIAL E MÉTODOS .....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÕES .....	36
LITERATURA CITADA .....	36
<b>3. CAPÍTULO III – Influência da Aplicação de rejeitos de dessalinizador e     hidroponia, sobre qualidade da água de drenagem.....</b>	<b>38</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>39</b>
Abstract.....	40
INTRODUÇÃO .....	41
MATERIAL E MÉTODOS .....	42

RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
CONCLUSÃO .....	50
LITERATURA CITADA .....	50

## Resumo

O uso de águas sob condições adequadas de manejo não deveria oferecer maiores problemas para irrigação. Na região semi-árida do Nordeste brasileiro que apresenta um déficit hídrico, o manejo inadequado da prática da irrigação, aliada à lixiviação incompleta e a intensa evaporação, resulta num aumento dos sais nas camadas superficial e/ou subsuperficial do solo em decorrência da insuficiência do balanço de sais comumente verificado nessas áreas. Desse modo, objetivando avaliar o processo de salinização de solos do perímetro irrigado do Moxotó-PE, submetidos a aplicação de rejeito de dessalinizador e rejeito de dessalinizador depois de ser utilizado no cultivo de alface no sistema hidropônico técnica do fluxo laminar de nutriente (tipo NFT), realizou-se um experimento em colunas de solo instalado no laboratório de Mecânica do solo e aproveitamento de resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial de dois de solos (argiloso e arenoso), dois tipos de rejeito (rejeito de dessalinizador e rejeito da hidroponia) e cinco concentrações salinas (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60 dS m<sup>-1</sup>), com três repetições. Os componentes avaliados no extrato da pasta saturada foram a condutividade elétrica (CE), cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio (RAS). No lixiviado determinou-se a condutividade elétrica, o sódio solúvel, o pH. A concentração de cálcio, de magnésio e de potássio solúveis aumentou independentemente da qualidade do rejeito utilizado, e este aumento foi proporcional aos níveis de condutividade elétrica aplicados. A utilização da lâmina de irrigação equivalente a três volumes de poros, utilizando rejeito de dessalinizador e de hidroponia não proporcionou a salinização e nem sodificação dos solos em estudo (CE > 4,00 dS m<sup>-1</sup> e RAS > 13). A água de drenagem caracterizou-se como material potencialmente poluente em termos da concentração de sais solúveis, tornando-se impróprio para reutilização agrícola.

**Palavra-chave:** hidroponia, salinidade, dessalinização.

## ABSTRACT

The use of waters under appropriate conditions of management should not offer great problems for irrigation. In the semi-arid area of the Brazilian Northeast that presents a hydrological deficit, the inadequate management of the irrigation practice, allied to the incomplete leaching and to the intense evaporation, result in an increasing of the salts in the surface and/or undersurface layers of the soil due to the insufficient salt balance commonly verified in those areas. In this way, aiming to evaluate the soil salty process of the Moxotó – PE irrigation project, submitted to the application of both rejects of desalt machine and of desalt machine after use in the lettuce cultivation in the nutrient laminate flow (type NFT) as a hydroponic technical system, it was realized an experiment in soil columns installed in the Soil Mechanic and Residue Use Laboratory of the Universidade Federal Rural de Pernambuco. The treatments were delineated in a randomized blocks with factorial arrangement of two soils (clayly and sandy), two types of reject (reject of desalt machine and reject of the hydroponic system) and five salty concentrations (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60 dS m<sup>-1</sup>), with three replicates. The evaluated components in the extract of the saturated paste were the electric conductivity (EC), soluble cations and the relationship of sodium adsorption relationship (SAR). In the leached solution it was determined the electric conductivity, the soluble sodium, the pH. The calcium, magnesium and potassium soluble concentrations increased independently of the quality of the reject used, and this increasing was proportional at the electric conductivity levels applied. The use of the irrigation volumes equivalent to three volumes of pores, using rejects both of desalt machine and of hydroponic system didn't provide the neither salty process nor sodium process of the soils studied (EC > 4,00 dS m<sup>-1</sup> and SAR > 13). The drainage water was characterized as a material potentially pollutant in terms of the concentration of soluble salts, verifying decreasing in the saturated hydraulic conductivity values of the soils.

Key words: hydroponic system, salinity, desalt process.

## INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente a degradação de solos pela salinização e/ou sodificação é um importante fator a ser considerado no impacto ambiental. Solos afetados por sais ocorrem extensivamente sob condições naturais, mas os maiores problemas de salinização são representados por solo anteriormente produtivo que se tornaram salinos devido ao manejo inadequado. Alta salinidade desses solos são fatores limitantes à sua produtividade, pois tais solos se tornam inaptos para agricultura sendo descartados do sistema de produção.

A escassez de água, seja quantitativa ou qualitativa, tem sido uma constante preocupação ao longo da História da humanidade, porém, a partir da última década do século XX, este problema ficou mais evidenciado devido ao crescimento populacional, à melhoria das condições de vida, aumentando a demanda no consumo de água (Juan, 2000).

Certamente, em qualquer situação fisiográfica a depleção dos recursos hídricos deve ser avaliada com preocupação, entretanto, em zonas caracterizadas por clima árido ou semi-árido, como na região do Nordeste brasileiro, que apresenta altas temperaturas, elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações pluviais, fatores que favorecem a escassez de água, esta preocupação tem caráter iminente.

A Região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>; desse total, 962.857,3 km<sup>2</sup> se situam no Polígono das Secas, delimitado em 1936 por meio da Lei 175 e revisado em 1951, que compreende as áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas. De acordo com SUDENE (2004) o semi-árido brasileiro ocupa aproximadamente 840.000 km<sup>2</sup> de área no nordeste e cerca de 54.000 km<sup>2</sup> do sudeste no estado de Minas Gerais que se caracteriza por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais. Nesta região, a disponibilidade hídrica anual de 700 bilhões de m<sup>3</sup> pode ser considerada expressiva, somente 24 bilhões de m<sup>3</sup> permanecem efetivamente disponíveis, sendo que a maior parte, ou seja, 97% é consumido pela evaporação que atinge, em média, 2.000 mm anuais.

Na região do Pajeú, no município de Serra Talhada, 54% das fontes de águas

subterrâneas são salobras, 37% salinas e apenas 9% doces (Mascarenhas et al, 2005). Esse é um retrato que representa a qualidade de água subterrânea do semi-árido nordestino, visto que, em 45% do território existe o contato destas reservas hídricas com o embasamento cristalino (Suassuna, 1994).

As águas subterrâneas na região semi-árida são alternativas de abastecimento em épocas de estiagem. Essas águas quando salobras podem ter sua qualidade química melhorada mediante dessalinização, processo que gera, além da água potável para consumo humano, animal ou agrícola e uma água residuária de salinidade elevada (Juan, 2000; Porto et al., 2001).

Segundo Carvalho (2000), o uso desta água é limitado por apresentar concentração elevada de sais. Sem opção, diversas comunidades rurais nordestinas consomem este tipo água, tanto para consumo doméstico, como para utilização para agricultura.

No final do século passado, o Governo Federal e os Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização das águas subterrâneas com elevada concentração de sais, objetivando a geração de água doce para o abastecimento urbano no Nordeste. Em 2004, conforme dados da Associação dos Geógrafos Brasileiros, mais de 3 mil dessalinizadores estavam instalados no semi-árido do Nordeste. O Governo Federal, mediante a implantação do Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente, sinaliza a ampliação desse número, indicando ainda intenção de recuperar os equipamentos atualmente parados por falta de manutenção e mau uso (Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2004).

Além do uso nos abastecimentos rural e urbano, tendo em vista a diminuição do preço dos dessalinizadores, é viável sua utilização em empreendimentos agrícolas, sobretudo para aqueles implementados de forma intensiva e com culturas de alto valor comercial. Soares et al., (2005), em trabalho envolvendo dessalinização de água salobra subterrânea para a produção de mudas cítricas, mostraram o crescimento significativamente superior das plantas irrigadas com água dessalinizada, em comparação com as irrigadas com a água salobra e com a água do rejeito de dessalinizadores.

Dependo do equipamento utilizado e da qualidade da água do poço, a quantidade de rejeito gerado é da ordem de 40 a 60% do total de água salobra que vem do poço. Considerando-se o número de dessalinizadores estimado em 400 equipamentos, grande volume de rejeito está sendo gerado no semi-árido brasileiro, e quase na totalidade dos casos, o rejeito não vem recebendo nenhum tratamento, mas está sendo despejado no

solo, propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno. A deposição deste rejeito poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas para as comunidades que se beneficiam desta tecnologia (Soares, 2005 ).

Em geral, nos países desenvolvidos o rejeito é transportado para os oceanos ou injetados em poços de grande profundidade; todavia, outras alternativas estão sendo estudadas, como: bacias de evaporação; redução de volume do rejeito utilizado plantas aquáticas; bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas.

Atualmente, o grande desafio é a dessalinização de águas sem agredir o meio ambiente. Por isso, diversos estudos estão sendo direcionados com o objetivo de apontar alternativas de aproveitamento do rejeito. Os estudos estão centralizados, praticamente, em três linhas de pesquisa: extração de sais minerais por evaporação; formação de meio líquido para o cultivo de tilápias, que são espécies extremamente resistentes a ambientes salinos; e cultivo irrigado com plantas halófilas (a exemplo da *Atriplex nummularia*), que necessitam de águas com teores salinos elevados para se desenvolver (Pessoa, 2001).

No estado de Pernambuco, na região do Sertão do Moxotó, a principal fonte de água potável são os poços rasos com baixo custo de obtenção, porém apresentando concentrações de sais relativamente elevadas. Esta água salobra é muito aproveitada na zona rural de Ibimirim para o consumo humano, após dessalinizada através de equipamentos que retiram o excesso de sais da água, dividindo-a em água potável e rejeito. Um outro uso desta água salobra, poderá ser para o cultivo hidropônico, uma atividade nova que vem sendo difundida no semi-árido nordestino, e que poderão vim a contribuir para o aumentar da produção nesta área, pois na hidroponia, a salinidade tolerada pelas culturas é maior que no cultivo convencional em solos salinos, devido a maior e constante disponibilidade de água nos diversos tipos de sistemas hidropônicos em relação ao cultivo em solo, e a pouca ou inexistente contribuição do potencial mátrico sobre o potencial total da água, devendo isto representar uma maior absorção de água e nutrientes pelas plantas para uma mesma quantidade de sais (Santos,2009).

Os rejeitos e subprodutos desta técnica de purificação de água estão sendo despejado no solo sem nem um tratamento, isto tem gerado problemas ambientais de salinização do solo, tornando-o improdutivo.. Poucos estudos têm sido realizados visando o reaproveitamento do rejeito de dessalinizadores, de forma a atenuar os

problemas ambientais decorrentes da sua descarga no solo e na água (Porto et al., 2001; Carneiro et al., 2001).

Portanto, tornam-se necessários estudos para determinar a viabilidade da utilização desses rejeitos, o que pode ser uma alternativa para o semi-árido nordestino, melhorando a renda dos pequenos produtores e atenuando o impacto ambiental.

O efeito da aplicação de rejeito de dessalinizadores e de efluentes, provenientes do cultivo hidropônico sobre o solo na região do sertão do Moxóto em Pernambuco, ainda não foi testado, tornando-se necessária a pesquisas para avaliar o impacto ambiental do solo causado pela deposição do rejeito.

O presente trabalho teve como objetivos:

- Verificar o efeito da aplicação de diferentes concentrações do rejeito do dessalinizador e de efluentes, provenientes do cultivo hidropônico sobre a condutividade elétrica (CE) e condutividade hidráulica dos solos,
- Avaliar a concentração de sais e sódio solúvel no lixiviado de solos, submetidos à irrigação com água de diferentes concentrações de rejeito do dessalinizador e de efluentes, provenientes do cultivo hidropônico.

## LITERATURA CITADA

- Associação dos Geógrafos Brasileiros. Embrapa utiliza rejeito de dessalinizadores para criar peixes e caprinos. [http:// geocities.yahoo.com.br/agbcg/dessali.htm](http://geocities.yahoo.com.br/agbcg/dessali.htm). 10 Jul. 2004.
- Carneiro, M. C.; Tomiyoshi, C. ; Lourenço, C. E. L. ; Guedes Filho, R.; Melo Junior, H. N. . Desempenho do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* cultivado com rejeito de dessalinizador no Curimataú paraibano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, XII , 2001, Foz do Iguaçu, Anais... Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, 2001.
- Carvalho, P. Água potável via energia solar. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v.27, n.158, p.72-74, 2000.
- Juan, J. A. M. S. Desalación de aguas salobres y de mar. *Osmose inversa*. Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.
- Mascarenhas, J. C.; Beltrão, B.A.; Souza Júnior, L.C.; Galvão, M.J.T.G; Pereira, S.N.; Miranda, J.L.F. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: diagnóstico do município de Serra Talhada, estado de Pernambuco. Recife: CPRM. 2005. 12p.
- Pessoa, L. C. C. Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa. Fortaleza: UFC, 2000. 94p. (Dissertação Mestrado).

- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, L. G. de A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001.
- Santos, A. N. dos. Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras. Recife: UFRPE, 2009.133p.
- Soares, T. M.; Duarte, S. N.; Graf, C. C. D.; Zanetti, M.; Zocchi, S. S. Produção de mudas cítricas utilizando águas salinas. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; 15, 2005, Teresina. Anais... Teresina: ABID, 2005. Cd Rom.
- Suassuna, J. A. Pequena Irrigação no Nordeste: Algumas Preocupações. Ciência Hoje, v.18, n.104, p.38-43, 1994.
- SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. O Nordeste semi-árido e o polígono das secas. [http:// www.sudene.gov.br](http://www.sudene.gov.br). 10 Jul. 2004.

## **CAPÍTULO I**

### **REVISÃO DE LITERATURA**

# REVISÃO DE LITERATURA

## 1. Formação de solos afetados por sais

Na zona semi-árida do Nordeste do Brasil as condições climáticas (déficit hídrico  $> 2000 \text{ mm ano}^{-1}$ ) não favorecem a lixiviação. Com evaporação superando e muito a precipitação, a drenagem dos sais solúveis resultante da intemperização das rochas e minerais é deficiente, resultando em solos afetados por sais. Estudando Neossolos Flúvicos do Perímetro Irrigado de Custódia-PE, Silveira et al., (2008) verificaram que a concentração dos íons solúveis na maioria das amostras estudadas foi  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ , para os cátions, e  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ .

Ferreira (2002) cita que os solos com alta concentração salina encontram-se, geralmente, nas regiões de clima árido e semi-árido. Isto porque as baixas precipitações pluviais não são suficientes para lixiviar os sais do perfil do solo e transportá-los até o leito dos rios perenes e finalmente para o mar. O clima quente, seco e alta taxa de evaporação contribuem para a acumulação desses sais no perfil e na superfície do solo.

A salinidade dos solos é influenciada por diversos fatores entre os quais se destaca as propriedades físicas e químicas do solo, as condições climáticas, geomorfológicas, topográficas e hidrológicas da área. Existem dois processos de salinização a natural ou primária e a secundária ou induzida (Richards, 1954, Ferreira, 2002, Barros et al., 2005).

### 1.1 Processo natural

Na salinização natural, a principal fonte de sais solúveis são os minerais primários que durante o processo de intemperização química desses minerais ocorre a liberação de sais para a água. Em regiões áridas ou semi-áridas devido a baixa precipitação pluvial e alto índice de evaporação, os sais tendem a se acumular no solo em consequência da pequena lixiviação interna no perfil do solo (Leite, 2005; Barros, 2008).

A decomposição de minerais primários *in situ*, raramente provoca acúmulo de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento vegetal. Para formação de solos afetados por sais, estes são geralmente transportados pela água, que é o principal agente transportador. Ao atingirem depressões com drenagem deficiente, ocorre a acumulação de água, que ao se evaporar promove a acumulação de sais na superfície e, ou,

subsuperfície do solo. Sumner (1995) relatou que os solos de regiões áridas e semi-áridas liberam cerca de 3 a 5 mmol/L de cálcio e magnésio para a solução, como resultado da dissolução de feldspatos, plagioclásios, hornblenda e outros minerais de fácil intemperização.

Estudando os solos aluviais de Sousa-PB Corrêa (2000), constatou na análise da fração areia a presença de elemento com o potássio contido no microclínio e mica, do sódio e cálcio oriundos provavelmente da albita e da anortita. O autor concluiu que o suprimento de elemento desses minerais pode contribuir para promover ou aumentar a salinização e a sodificação dos solos. Resultado semelhantes foram obtidos por Oliveira et al (2002) estudando a mineralogia de Neossolos Flúvicos do Perímetro Irrigado de Custódia, na região do sertão do Moxotó.

Barros (2001) em trabalho com solos aluviais do perímetro irrigado de Custódia-PE, objetivando determinar os minerais que favoreceriam a salinização e a sodificação, identificaram na fração areia, silte e argila a presença de mica e feldspatos sódicos. Os autores concluíram que o produto de decomposição da mica e do feldspato sódico pode ser um indicativo de um problema regional que poderá facilitar a sodificação pelo suprimento de sódio ao sistema. Esta conclusão foi constatada por Marques et al., (1999) estudando a mineralogia da fração argila, silte e areia em amostras de solos deste mesmo perímetro. Os difratogramas revelaram a presença na fração argila de minerais dos grupos da esmectita, da caulinita e de mica, além de interestratificados irregulares.

## **1.2 Lençol Freático**

Oliveira (1997) relata que outra importante fonte responsável pela salinização natural desses solos, mesmo quando não são irrigados, é a água do lençol freático. A concentração de sais, medida pela condutividade elétrica (CE) dessa água, pode atingir valores superiores a 3,00 dS m<sup>-1</sup>, dependendo de sua origem e das rochas com que esteve em contato. A água do lençol freático, quando não muito profundo, tende a ascender por capilaridade, causando a salinização das camadas superficiais do solo, quando ocorre a evaporação.

Com o objetivo de avaliar os efeitos da salinidade do solo submetidos à irrigação com água salina com condutividade elétrica (CE) de 1,2 dS m<sup>-1</sup> sobre a nutrição mineral da cultivar de milho UFVM 100, em experimento em lisímetros de drenagem. Os autores observaram que o aumento da salinidade do solo reduziu os teores foliares dos macronutrientes (cálcio, magnésio e potássio) e elevou os teores de sódio e as

relações  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ , provocando desequilíbrio e estresse nutricional (Chaves et al., 2006).

Em regiões úmidas também ocorre formação de solos salinos, quando existe intrusão de água do mar no local. Os solos indiscriminados de mangues são exemplos de solos salinos encontrados na zona do litoral de todos os Estados do Nordeste, porém são de pouca representatividade.

### **1.3 Processo induzido**

#### **1.3.1 Irrigação**

Solos afetados por sais ocorrem extensivamente sob condições naturais, mas os mais sérios problemas de salinização são representados por solos anteriormente produtivos que se tornam salinos devido à irrigação. Esta salinização é comumente chamada de salinização secundária ou antrópica (Barros et al., 2005)

Sem um manejo adequado de água-solo-salinidade, a irrigação tem levado a salinização e sodificação de extensa área semi-árida do Nordeste brasileiro, aproximadamente 25% das áreas irrigadas dessa região encontra-se salinizada (Gheyi, 2000; Barros et al., 2005). Segundo Medeiro et al., (2003) os solos afetados por sais ocupam uma área de aproximadamente de 9,1 milhões do Nordeste do Brasil.

De acordo com Barros et al., (2003) qualidade de água para irrigação também representa um dos principais fatores que provoca a salinidade dos solos. Nas áreas intensamente cultivadas sob irrigação, como nos perímetro irrigados e nos pólos produtivos da região Nordeste, a maior parte dos sais é transportada ao solo através da água de irrigação, tanto pela alta concentração salina da água, como também pela baixa capacidade de drenagem, os sais não são lixiviados favorecendo a acumulação desses em quantidades prejudiciais ao desenvolvimento das plantas.

Freitas et al., (2007) estudaram as alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos (Latossolo Amarelo Distrófico e Espodossolo Cárbico Hidromórfico), não afetados por sais, submetidos à irrigação com água salina, concluíram que as características químicas dos solos foram afetadas de modo similar pela salinidade da água, com aumento nos teores de sódio trocável, na relação de adsorção de sódio (RAS) e na percentagem de sódio trocável (PST), provocados pelos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação.

Em pesquisa para avaliar características do crescimento e desenvolvimento do tomateiro a diferentes níveis de sais na água de irrigação Oliveira et al., (2007) observaram que os níveis de sais na água de irrigação reduziram significativamente os valores das variáveis analisadas, com efeito sobre a altura de plantas, área foliar, produção de biomassa seca e produção de frutos.

#### **1.4 Fertilização**

Outro fator que não pode ser desprezado na indução da salinidade, por ações antropogênicas é a aplicação de fertilizante com índice salino elevado, tais como: cloreto de potássio, nitrato de amônia e formulações comerciais. O uso indiscriminado e excessivo desses insumos pode induzir a um incremento da pressão osmótica na solução do solo, prejudicando muitas vezes a germinação das sementes e o desenvolvimento de plantas muito jovens. Na região de Mossoró-RN, o rendimento das culturas decresceu em três anos de cultivo, o que indica que a água (chuva e irrigação) não foi suficiente para lixiviar os sais, oriundos em grande parte dos adubos aplicados, para uma profundidade abaixo da zona de crescimento das raízes (Oliveira, 1997).

Investigando o excesso de fertilizantes e o manejo inadequado da irrigação nos cultivos em ambiente protegido Blanco & Folegatti (2001) observaram aumento na salinização do solo e redução da produção das culturas. Estes autores utilizando uma lâmina de lixiviação pelos métodos de gotejamento e inundação, concluíram que a aplicação por gotejamento foi mais eficiente na lixiviação dos sais acumulados no solo que a aplicação por inundação.

#### **1.5. Sais provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa**

Na região semi-árida do Nordeste do Brasil estão sendo instalados vários dessalinizadores, na tentativa de viabilizar o uso de água de poços altamente salina imprópria para consumo humano e animal. Os rejeitos ou subprodutos desta técnica de purificação de água estão sendo despejados no solo, sem nenhum tratamento. Os dados obtidos por Amorim et al., (1997) indicam que em Petrolina-PE, na Comunidade de Rajada, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) alcançou valor  $> 12$  dS/m e a percentagem de sódio trocável (PST) já atingiu valor  $> 15\%$ , nos primeiros 30 cm do solo, nos locais onde os rejeitos são depositados. Porto & Amorim (2001) em estudo com o objetivo de reduzir os impactos causados pela dessalinização de água salobra

proveniente do cristalino no trópico semi-árido brasileiro, a atriplex (*Atriplex nummularia*) foi cultivada durante um ano, nos campos da Estação Experimental da Embrapa Semi-Árido. As plantas foram irrigadas com rejeito do processo de dessalinização, com concentração salina média de  $11,38 \text{ dS m}^{-1}$ , e cada uma recebeu 75 L de água por semana, durante 48 semanas. A salinidade média do perfil de solo, da camada de 0 a 90 cm, era de  $0,64 \text{ dS m}^{-1}$  antes de se iniciar a irrigação das plantas; depois da colheita das plantas, a salinidade do mesmo perfil de solo foi de  $12,74 \text{ dS m}^{-1}$ .

Os rejeitos dos dessalinizadores podem contaminar os mananciais hídricos, o solo e até a fauna e flora da região, alertando que os sais depositados na superfície do solo, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial e salinizar as águas e áreas próximas. O sódio dos sais, por exemplo, poderá substituir o cálcio adsorvido no complexo de troca, causando a dispersão dos colóides do solo, e conseqüentemente, contribuindo para redução da condutividade hidráulica do solo. Segundo esses mesmo autores, a vegetação da área poderá ser prejudicada devido à deterioração das características físico-químicas dos solos (Amorim et al., 2004).

## 2. Classificação de solos afetados por sais

Os solos afetados por sais contêm sais solúveis e, ou, sódio trocável em quantidade suficiente para reduzir, interferir ou até mesmo impedir o desenvolvimento vegetal. Nesse grupo estão incluídos os solos salinos, solos salino-sódicos e solos sódicos (Barros et al., 2005; Silveira et al., 2008).

A classificação tradicional para estes solos foi proposta por RICHARDS (1954), de acordo com as características de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), pH da pasta saturada e percentagem de sódio trocável (PST). Esta classificação apresenta os limites indicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação de solos afetados por sais

Tipo de Solo	CE (d S/m)	PST (%)	pH
Normal	< 4	< 15	< 8,5
Salino	≥ 4	< 15	< 8,5
Salino-sódico	≥ 4	> 15	≥ 8,5
Sódico	< 4	≥ 15	≥ 8,5

Rengasamy e Olsson (1991) relataram na Austrália a ocorrência de três tipos de solos sódicos: solos sódicos alcalinos, solos sódicos neutros e solos sódicos ácidos. Os solos sódicos alcalinos incluem os solos com alta concentração de  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  solúveis, sendo estes os principais fatores responsáveis pelo seu pH alcalino. Os solos sódicos neutros ocorrem em áreas com precipitação pluviométrica  $< 550$  mm/ano e são caracterizados pela baixa concentração de  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  solúveis, com predominância de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  solúveis. Os solos sódicos ácidos são menos comuns, mas geralmente ocorrem em áreas com precipitação pluviométrica de 550-750 mm/ano e são caracterizados pela lixiviação de Ca e Mg do complexo de troca. Naidu et al., (1995) definiram que para as condições australianas um solo é considerado sódico quando apresenta uma PST  $> 6$  no perfil do solo, da superfície até 1 m de profundidade. Os autores relataram também que o termo solos sódicos deve ser usado para referir situações em que o comportamento físico do solo é apreciavelmente afetado pela presença de sódio trocável (degradação da estrutura).

Silveira et al., (2000) citam que os solos salinos são classificados como Solonchack e os definiram como solos pouco diferenciados, que possuem mais comumente seqüência de horizontes A-Cgz ou Az-Cgz, apresentando horizonte sálico no caso de salinização mais intensa. Podem apresentar grande variação de cor, textura e valores de atributos químicos, sendo, contudo caracterizados pela alta salinidade. Os solos sódicos, classificados como Solonetz solodizado, são solos com predominância de argilas de atividade alta, com elevados teores de sódio trocável e saturação por bases. Possuem diferenciação de horizontes com contraste muito grande entre os horizontes A, E e Btn, apresentando estrutura colunar ou prismática bem desenvolvida, formada por material coeso de consistência extremamente dura quando seco e firme a extremamente firme quando úmido, limitando a penetração de raízes, água e ar.

Os solos salino-sódicos são solos que apresentam excesso de sais solúveis e alta percentagem de sódio trocável (PST), resultante dos processos combinados de salinização e sodificação (Richards, 1954).

### **3. Balanço de sais no solo**

A distribuição e/ou remoção de sais no perfil do solo são controladas pelo manejo da água de irrigação. Por tanto, para evitar a acumulação de sais no solo, deve ser aplicada uma lâmina de água adicional além da exigida pela evapotranspiração da

cultura, para que o excesso de água passe por meio da zona do sistema radicular e lixivie os sais para a rede de drenagem. Essa deve ser dimensionada para suportar o fluxo de água proveniente da lixiviação e do lençol freático. Esta técnica é conhecida como necessidade de lixiviação (NL) ou exigência de lixiviação (EL), conforme (Richards 1954; Barros et al., 2005).

Considerando-se que as chuvas são insuficientes para promover a remoção de sais da zona radicular. A exigência da lixiviação (EL) pode ser estimada por meio de um modelo de balanço de sais (BS). Num solo irrigado e provido de um sistema de drenagem, a longo prazo, o fluxo de sais através do perfil passa a ser estável, uma equação relacionando entrada e saída de sais no perfil do solo (balanço de sais - BS) e é descrita segundo Rhoades (1974).

$$L_{ai}C_{ai} + L_{af}C_{af} + M_s + F_s - L_{ad}C_{ad} - P_s - R_s = \Delta S_{as} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

$L_{ai}$  = lâmina de irrigação;

$C_{ai}$  = concentração de sais da água de irrigação;

$L_{af}$  = quantidade de água;

$C_{ad}$  = concentração máxima permitida de cloretos na água de drenagem;

$C_{af}$  = concentração de sais provenientes do lençol freático;

$M_s$  = sais resultantes da intemperização dos minerais do solo;

$F_s$  = sais adicionados como fertilizantes;

$L_{ad}$  = quantidade de água drenada;

$C_{ad}$  = concentração de sais na água de drenagem;

$O_s$  = fração dos sais aplicados com água de irrigação que se precipitam;

$R_s$  = quantidade de sais removidos nas colheitas;

$\Delta S_{as}$  = mudança na salinidade da água no solo.

Sob condições de fluxo estável de sais,  $\Delta S_{as}$  é zero. Assumindo: i) não haver adição nem eliminação de sais devido às chuvas, ii) profundidade do lençol freático suficiente para que sua contribuição hhhh seja desprezível e iii) que adição de sais pela intemperização e fertilizantes seja compensada pela precipitação pluvial e eliminação de sais pelas colheitas, a equação Eq.1 reduz-se a:

$$L_{ad}/L_{ai} = C_{ai}/C_{ad} = CE_{ai}/CE_{ad} = EL$$

ou seja,

$$L_{ad} = EL \cdot L_{ai} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

$CE_{ai}$  = condutividade elétrica da água de irrigação, em dS/M a 25° C;

$CE_{ad}$  = condutividade elétrica da água de drenagem, em dS/M a 25° C;

EL = exigência de lixiviação (fração da água aplicada que deve ser drenada da zona radicular a fim de manter a  $CE_{ad}$  dentro de limites pré-fixados).

***Lâmina de água a ser Drenada:***

A lâmina de água a ser drenada pode ser determinada pela equação seguinte:

$$L_{ad} = EL \cdot L_{ai}$$

$$L_{ai} = L_{ad} + L_{uc} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$L_{ad} = EL (L_{ad} + L_{uc}) = \frac{EL \cdot L_{uc}}{1 - EL} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

$L_{uc}$  = uso consultivo ou demanda de evapotranspiração da cultura.

Portanto, uma vez determinada a condutividade elétrica da água de irrigação e de drenagem e o uso consultivo da cultura, a quantidade de água a ser drenada (L) é dada pelas equações 2 e 4.

A lâmina de lixiviação pode ser aplicada de forma contínua ou intermitente. O teor de água do solo durante a lixiviação, o método e a velocidade de infiltração da lâmina podem influenciar a eficiência do processo de lixiviação em solo salino.

A aplicação de forma contínua e intermitente também difere quanto à uniformidade da lixiviação de sais. A aplicação de grandes lâminas de lixiviação por inundação, em solo não saturado, proporcionou reduzido decréscimo da salinidade (Blanco e Folegatti, 2001). Para a condição de saturação e aplicação por inundação, Ferreira et al., (2006) observaram que o emprego de pequenas lâminas de lixiviação aumentou a salinidade com a profundidade e ocorreu maior lixiviação dos sais do solo com o aumento das lâminas de lixiviação.

De acordo com Ferreira (2002) mantendo o balanço de sais na zona radicular, pode-se ter um controle sobre aumento ou redução da concentração salina no solo. Quando as plantas extraem água, a maioria dos sais permanece no solo, aumentando a concentração da solução do solo, e conseqüentemente afetando o desenvolvimento da cultura. O nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas (Gheyi et al., 1997). Para se manter a solução do solo num nível de salinidade compatível com o sistema de cultivo, a remoção de sais na zona radicular depende da manutenção do balanço de sais. Esta lixiviação é o fator mais importante para reduzir a intensidade da salinização de uma área irrigada.

O princípio básico para se evitar a salinização de um solo é manter o equilíbrio entre a quantidade e qualidade de sais que é fornecida ao solo, através da água de irrigação, com a quantidade e qualidade de sais que é retirada por meio da lixiviação e da drenagem (Dantas et al.,2005).

## LITERATURA CITADA

- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Silva Júnior, L. G. A. Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa. <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>. 10 Jul. 2004b.
- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Silva Júnior, L. G. A.; Liberal, G. da S. Efeitos de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no semi-árido pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande, PB. Resumos... Campina Grande, UFPB, 1997. (CD).
- Barros, M. de F. C.; Santos, P. M.; Ferras, F. B. Qualidade da água de drenagem de solos degradados pela salinização e sodificação depois da aplicação de gesso e calcário e de lâmina de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, n.1, p.363-378, 2008.
- Barros, M. de F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez V., V. H.; Ruiz, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, n.3, p.320-326, 2005.
- Barroso, P. A. V.; Moura, G. E. D. D.; Brito L. K. F.; Martins, C. P.; Macedo, C. E. C.; Lopes, D. B. & Allouffa, M. A. I. Efeito do cultivo in vitro na presença de NaCl em plantas de abacaxizeiro na fase de aclimação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, p.420-424, 2005.

- Blanco, F. F. & Folegatti, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, p.76-80, 2001.
- Chaves, L. H. G.; Vasconcelos, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, p. 84-88, 2006.
- Corrêa, M. M. Atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos de solos e ambiente agrícola nas Várzeas de Souza – PB. Viçosa, UFV, 2000. 107p. (Dissertação de Mestrado).
- Dantas, D. da C.; Matos, J. de A. de; Medeiros, J. F. de; Porto Filho, F. de Q.; Miranda, N. de O. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo a partir de extratos 1:2 pelo método do eixo principal reduzido. *Irriga*, Botucatu, n.4, p. 335-340, novembro-dezembro, 2005.
- Ferreira, P. A.; Moura, R. F.; Santos, D. B.; Fontes, P. C. R.; Melo, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, p. 570-578, 2006.
- Ferreira, P. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. et al. Sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de água salinas de irrigação. In: XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Cuiabá: UFMT, p.13-13, 2002.
- Freitas, E. V. S.; Fernandes, J. G.; Campos, M. C. C.; Freire, M. B. G. dos S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, Campina Grande-PB, n. 1- 1º sem. P. 21-28, 2007.
- Gheyi, H. R.; Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T.; Assis, J. R.; R. N.; Romero, R. E.; Silva, J. R. C. (Eds). *Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 329-345, 2000.
- Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande-PB: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 8, p. 239-284.
- Leite, E. M. Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando Milheto (*Pennisetum americanum* L.) como planta teste. Dissertação de mestrado. Areia, PB: CCA/UFPB, 2005. 62 p.: il.
- Medeiros, J. F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J. S.; Alves, L. P. caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, p. 469-472, 2003.

- Naidu, R.; Merry, R. H.; Churchman, G. J.; Wright, M. J.; Murray, R. S. Sodicity in south Australia: a review. In: Naidu, R.; Sumner, M. E.; Rengasamy, P. (eds.) Australian sodic soils: distribution, properties and management. Victoria: CSIRO, 1995. p. 265-275.
- Oliveira, F. de A. de; Medeiros, J. F. de; Oliveira, M. K. T.; Lima, C. J. G. de S.; Galvão, D. de C. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca “jade” irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. Revista Verde, Mossoró, n.1, p. 45-52, janeiro-julho 2007.
- Oliveira, L. B.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, M. G. V. X.; Lima, J. F. W. F.; Marques, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 1477-1486, 2002.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, p.111-114, 2001.
- Rengasamy, P.; Olsson, K. A. Sodicity and soil structure. Aust. J. Soil Res., v.29: 935-952, 1991.
- Rhoades, J. D.; Clark, M. Sampling procedure and Chemical methods in use at the U. S. Salinity Laboratory for characterizing salt-affected soil and water. California, U. S. Salinity Laboratory, Riverside, 1978. 24 p. (mimeografado).
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington, U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p.
- Silveira, K. R.; Ribeiro, M. R.; Oliveira, L. B.; Heck, R. J.; Silveira, R. R. Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. Scientiae Agrícola, Piracicaba, v. 65, p. 69-76, 2008.
- Sumner, M. E. Sodict soils: new perspectives. In: Naidu, R.; Sumner, M. E.; Rengasamy, P. Australian sodic soils: distribution, properties and management. Victoria, CSIRO, 1995. p. 1-34.

## **CAPÍTULO II**

**Aplicação de rejeitos de dessalinizador e hidroponia sobre composição química do extrato de saturação de Neossolos Flúvicos**

## **Aplicação de rejeitos de dessalinizador e hidroponia sobre composição química do extrato de saturação do solo**

**Resumo:** objetivando avaliar o processo de salinização de solos do Perímetro irrigado do Moxotó–PE, submetidos a aplicações de rejeito de dessalinizador e rejeito de dessalinizador depois de ser utilizado no cultivo de alface no sistema hidropônico técnica do fluxo laminar de nutriente (tipo NFT), realizou-se um experimento em colunas de solo instalado no laboratório de Mecânica do solo e aproveitamento de resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial de dois de solos (argiloso e arenoso), dois tipos de rejeito (rejeito de dessalinizador e rejeito da hidroponia) e cinco concentrações salinas (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60), com três repetições. Os componentes avaliados no extrato da pasta saturada foram a condutividade elétrica (CE), os cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio (RAS). A concentração de cálcio, de magnésio e potássio aumentou independentemente da qualidade do rejeito utilizado, e este aumento foi proporcional aos níveis aplicados. A utilização da lâmina de irrigação equivalente a três volumes de poros, utilizando rejeito de dessalinizador e de hidroponia não proporcionou a salinização e nem sodificação dos solos em estudo ( $CE > 4,00 \text{ dS m}^{-1}$  e  $RAS > 13$ ).

**Palavra-chave:** sódio solúvel, salinidade, RAS

## **Effect of the application of rejects from desalt machine and from hydroponic system in the chemical composition of the soil saturation extract**

**Abstract:** aiming to evaluate the soil salty process of the Moxotó – PE irrigation project, submitted to the application of both rejects of desalt machine and of desalt machine after use in the lettuce cultivation in the nutrient laminate flow (type NFT) as a hydroponic technical system, it was realized an experiment in soil columns installed in the Soil Mechanic and Residue Use Laboratory of the Universidade Federal Rural de Pernambuco. The treatments were delineated in a randomized blocks with factorial arrangement of two soils (claily and sandy), two types of reject (reject of desalt machine and reject of the hydroponic system) and five salty concentrations (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60 dS m<sup>-1</sup>), with three replicates. The evaluated components in the extract of the saturated paste were the electric conductivity (EC), soluble cations and the relationship of sodium adsorption relationship (SAR). The calcium, magnesium and potassium soluble concentrations increased independently of the quality of the reject used, and this increasing was proportional at the electric conductivity levels applied. The use of the irrigation volumes equivalent to three volumes of pores, using rejects both of desalt machine and of hydroponic system didn't provide the neither salty process nor sodium process of the soils studied (EC > 4,00 dS m<sup>-1</sup> and SAR > 13).

**Key words:** soluble sodium, salinity, SAR

## INTRODUÇÃO

Solos afetados por sais contêm sais solúveis e/ou sódio trocáveis em quantidade suficiente para reduzir ou interferir no desenvolvimento vegetal e conseqüentemente, na produção das culturas. Sendo esta uma limitações da produção agrícola mundial, sobretudo em áreas irrigadas localizadas em zonas áridas e semi-áridas (Melo et al., 2008).

Solos afetados por sais são normalmente encontrados em zonas áridas e semi-áridas, onde a evaporação é superior à precipitação. A drenagem interna deficiente apresentada em alguns solos dessas regiões, juntamente com a excessiva evaporação, produz a acumulação de sais solúveis e o incremento do sódio trocável na superfície e, ou, na subsuperfície dos solos (Barros et al., 2004).

No estado de Pernambuco, na região do Sertão do Moxotó, a principal fonte de água potável são os poços rasos com baixo custo de obtenção, porém apresentando concentrações de sais relativamente elevadas. Esta água salina é muito aproveitada na zona rural de Ibimirim para o consumo humano, após dessalinizada através de equipamentos que retiram o excesso de sais da água, dividindo-a em água potável e rejeito.

Atualmente, o grande desafio é a dessalinização de águas sem agredir o meio ambiente. Por isso, diversos estudos estão sendo direcionados com o objetivo de apontar alternativas de aproveitamento do rejeito. Os estudos estão centralizados, praticamente, em três linhas de pesquisa: extração de sais minerais por evaporação; formação de meio líquido para o cultivo de tilápias, que são espécies extremamente resistentes a ambientes salinos; e cultivo irrigado com plantas halófilas (a exemplo da *Atriplex nummularia*), que necessitam de águas com teores salinos elevados para se desenvolver (Pessoa 2000).

Objetivou-se, com o presente trabalho avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações do rejeito do dessalinizador e do rejeito do sistema hidropônico sobre a composição química e o aumento da condutividade elétrica (CE) e da relação de adsorção de sódio (RAS) do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram coletadas duas amostra de solo (S1 e S2), na profundidade de 0-40 cm, do perímetro de Ibimirim-PE. O experimento foi conduzido no Laboratório

de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos de Universidade Federal Rural de Pernambuco. Para a coleta das amostras de solos, foi utilizado o procedimento descrito por Magalhães (1987), modificada por Barros (2001). A amostra representativa de cada solo (amostra composta) foi obtida pela mistura de 20 amostras simples, composta de cinco subamostras, coletadas por meio de tradagem (trado de caneco)

A área dos solos em estudo pertence à microrregião pernambucana do sertão do Moxotó, com uma área de 9.804 km<sup>2</sup>. Quanto à classificação de koppen, o clima é do tipo BWwh4'', isto é, seco de estepe, Os valores médios anuais de precipitação pluvial é cerca de 500 mm. A localização do perímetro é definida pelas seguintes coordenadas geográficas de 8°32'15'' de latitude Sul, longitude oeste de Greenwich de 37°41'30'' (Silva, 2006)

A caracterização do solo foi realizada em amostra seca ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2 mm de malha, retirando-se, antes desse procedimento, torrões, para obtenção da densidade do solo. O extrato de saturação foi obtido segundo a metodologia descrita por Richards (1954); determinaram-se, no extrato da pasta saturada, a condutividade elétrica (CE), o pH, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, sódio e potássio por fotometria de chama. Com os valores obtidos para cálcio, magnésio e sódio solúveis, quantificaram-se os valores para a relação de adsorção de sódio RAS, usando a expressão  $RAS = \frac{Na}{[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2}}$  e os resultados se encontra na Quadro 1.

Quadro 1. Composição do extrato da pasta saturada dos solos

Amostra	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	*CE	**RAS
	----- mmol/L -----				- dS m <sup>-1</sup> --	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
S1	1,96	1,20	3,27	0,53	0,70	2,59
S2	1,57	1,14	1,52	0,54	0,49	1,16

\*CE = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada e \*\*RAS = relação de adsorção de sódio.

Na caracterização física, seguido o procedimento da EMBRAPA (1997), foram determinados: a condutividade hidráulica pelo método descrito para solos com estrutura deformada, a composição granulométrica, após lavagem com etanol a 60% até eliminação total de cloretos, a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo através do método do torrão parafinado (Quadro 2).

Quadro 2. Características físicas das amostras de solo

Amostra	Análise Granulométrica			Classe Textural	Condutividade Hidráulica	*Ds	**Dp	***PT
	Areia	Silte	Argila					
	-----%-----				cm h <sup>-1</sup>	--g cm <sup>-3</sup> --	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
S1	40,24	16,00	43,76	Argiloso Franco	1,12	2,64	1,40	46,97
S2	59,60	20,00	20,40	argilo-arenoso	5,13	2,56	1,50	41,41

\*DS = Densidade do solo, \*\*DP = Densidade das partículas, \*\*\*PT = Porosidade Total

Aplicando ainda a metodologia sugerida por Richards (1954), foram determinados: o pH dos solos na relação solo-água (1:2,5), a capacidade de troca de cátions (CTC) pelo método do acetato de sódio. Após a extração, o sódio e o potássio foram determinados por fotometria de chama, e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica. A percentagem de sódio trocável (PST) foi obtida a partir dos dados da CTC e do sódio trocável pela equação  $PST = (Na / CTC) \times 100$  (Quadro 3.).

Quadro 3. Características químicas das amostras de solos

Amostra	Cátions Trocáveis				CTC	*PST	**pH
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>			
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---%---	
A	9,65	5,25	0,87	0,48	16,25	5,35	7,86
B	5,60	3,78	0,42	0,13	9,93	4,22	7,65

\*PST = percentagem de sódio trocável e \*\*pH = H<sub>2</sub>O relação 1:2,5.

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial de dois de solos (argiloso e arenoso), dois tipos de rejeito (rejeito de dessalinizador e rejeito da hidroponia) e cinco concentrações salinas (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60), com três repetições.

A água do dessalinizador foi proveniente de um poço tubular, equipado com um aparelho de osmose reversa, com capacidade de produzir 1200 l h<sup>-1</sup> de água dessalinizada e de rejeito. Os cinco níveis de salinidades do rejeito hidropônico (0,54; 1,19; 2,2; 3,53 e 4,62 dS m<sup>-1</sup>) utilizadas nesse estudo seguiram a metodologia descrita por Santos (2009). A composição do rejeito da dessalinização da água encontra-se descrita no Quadro 4.

No rejeito do dessalinizador foram utilizadas os mesmos níveis de condutividade elétrica do rejeito de hidroponia. Os níveis de salinidade do rejeito foram obtidos utilizando-se como fonte salina a água do poço e o rejeito da dessalinização da mesma. Para se atingir níveis de salinidade mais elevados, o rejeito da dessalinização foi novamente dessalinizado (sistema “by pass”), produzindo-se assim um rejeito ainda mais salino, com uma condutividade elétrica aproximadamente de 6,70 dS m<sup>-1</sup>. Para o ajuste final de forma que as condutividades elétricas (CE) do rejeito do dessalinizador atingissem os mesmo níveis das concentrações do rejeito hidropônico, foi adicionada água deionizada. A proporção da mistura, água deionizada + rejeito do dessalinizador, encontra-se no Quadro 5.

Quadro 4. Composição química dos rejeitos

Rejeitos	Níveis	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	*CE	**RAS	pH
	dS m <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup>				dS m <sup>-1</sup>	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	
HIDROPONIA (H)	0,54	3,14	1,69	0,06	0,10	0,54	0,04	7,11
	1,18	3,84	3,25	2,99	1,68	1,18	1,59	6,96
	1,90	7,51	6,42	5,80	0,01	1,90	2,20	7,43
	3,53	9,37	12,20	15,15	0,01	3,53	4,61	7,43
	4,62	4,52	15,00	24,57	2,10	4,62	7,86	7,55
DESSALINIZADOR (D)	0,54	0,74	1,41	2,73	0,01	0,54	2,63	7,3
	1,18	1,55	3,60	6,37	0,03	1,18	3,97	7,42
	1,90	2,38	6,15	10,80	0,06	1,90	5,23	7,73
	3,53	3,33	12,92	17,90	0,12	3,53	6,28	7,86
	4,62	4,08	18,17	25,34	0,15	4,62	7,60	7,99

\*CE = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada e \*\*RAS = relação de adsorção de sódio.

Quadro 5. Níveis de salinidade do rejeito do dessalinizador.

Rejeito do cultivo hidroponico (dS m <sup>-1</sup> )	Rejeito Concentrado do dessalinizador CE (dS m <sup>-1</sup> ) = 6,7	Água deionizada (dS m <sup>-1</sup> )	Rejeito do dessalinizador (dS m <sup>-1</sup> )
0,54	1 ml	13,33 ml	0,54
1,18	1 ml	5,26 ml	1,18
1,90	1 ml	2,68 ml	1,90
3,53	1 ml	0,87 ml	3,53
4,62	1 ml	0,42 ml	4,62

As unidades experimentais foram constituídas de tubos plásticos de PVC com 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, tendo uma das extremidade fechada com tampas de PVC, no centro da qual foi adaptada uma torneira de 3/8 de polegada internamente. Na extremidade da coluna, foram colocadas malhas de abertura seqüenciada, de modo a simular gradiente de drenagem. As amostras de solos foram acondicionadas nas colunas de modo a se aproximarem da densidade do solo de cada amostra.

Depois as colunas de solo foram umedecidas lentamente com o rejeito até atingirem a saturação, permanecendo nesta umidade durante 24 h, para restabelecimento do equilíbrio do sistema. Em seguida, as colunas de solo foram lixiviadas com os rejeitos mantendo-se um nível constante de 2 cm acima da superfície do solo. Na lixiviação utilizou-se uma lâmina equivalente a três vezes o volume de poros (2.100 ml), depois da lixiviação as colunas foram desmontadas e os solos secos ao ar,

destorroados e passados em peneira de 2 mm de abertura; determinaram-se, no extrato da pasta saturada, a condutividade elétrica (CE), cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio (RAS).

Os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão, testando-se diversos modelos. Os critérios para escolha do modelo foram o maior valor do coeficiente de determinação ajustado e a significância dos coeficientes da equação de regressão, utilizando o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, 1992).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação do rejeito de hidroponia e de dessalinizador via irrigação dos solos equivalente a uma lâmina de lixiviação igual a três vezes o volume de poros (3,00 VP) resultou em uma grande variação nas concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio solúveis, da condutividade elétrica (CE) e da relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação dos solos em relação aos valores encontrados antes da aplicação dos tratamentos (Quadro 1).

Depois da aplicação da lâmina de lixiviação foi verificada influência significativa (Quadro 6.) dos fatores solos (arenoso e argiloso), dos rejeitos (Dessalinizador e hidroponia) e dos níveis de condutividade elétrica dos rejeitos, sobre os valores de cálcio, magnésio, potássio e sódio solúveis, condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS).

No Quadro 7. constata-se que as concentrações de cálcio e magnésio solúveis aumentaram tanto para a aplicação do rejeito de hidroponia como para a aplicação de rejeito de dessalinizador, e este aumento foi proporcional aos níveis de CE utilizados. Observando-se os resultados em valores absolutos pode ser verificado que para a condição dos solos que receberam o rejeito advindo da hidroponia estes resultados foram mais elevados que os obtidos quando os solos foram irrigados com rejeito do dessalinizador. Isto é explicado pela maior quantidade de cálcio e magnésio contido no

Quadro 6. Influencia dos fatores solo, rejeito e níveis de CE sobre a composição do extrato de saturação.

Fatores	Valor de F					
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CE	RAS
Bloco	0,37 <sup>NS</sup>	1,36 <sup>NS</sup>	1,89 <sup>NS</sup>	0,51 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>	0,66 <sup>NS</sup>
Solo	11,62 <sup>**</sup>	31,54 <sup>**</sup>	31,47 <sup>**</sup>	4,58 <sup>*</sup>	45,72 <sup>**</sup>	4,71 <sup>*</sup>
Rejeito	43,99 <sup>**</sup>	59,74 <sup>**</sup>	304,03 <sup>**</sup>	62,05 <sup>**</sup>	18,52 <sup>**</sup>	469,52 <sup>**</sup>
Níveis	293,55 <sup>**</sup>	697,20 <sup>**</sup>	690,79 <sup>**</sup>	93,67 <sup>**</sup>	1727,75 <sup>**</sup>	577,41 <sup>**</sup>
CV	13,76	7,44	6,65	10,34	5,60	7,78

NS - não significativo; \* significativo em nível de 5% e \*\* significativo em nível de 1% de probabilidade

rejeito da hidroponia por causa da adição de cálcio e magnésio como fertilizantes na condição de hidroponia (Quadro 4.). Pode ser verificado também, que os maiores valores foram encontrados para o solo argiloso, este fato provavelmente está relacionado a maior quantidade de argila deste solo resultando, conseqüentemente, em maior capacidade de troca de cátions (CTC) deste. O solo argiloso apresenta um maior número de cargas negativas quando comparado com o solo arenoso favorecendo uma maior adsorção de cálcio e magnésio. Como existe um equilíbrio químico entre as fases líquida e sólida do solo, maior adsorção de cálcio e magnésio implicando em maior concentração desses íons em solução. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Melo et al., (2008), utilizando níveis da necessidade de gesso e uma lâmina de irrigação igual a três volumes de poros para recuperação de dois solos do Perímetro Irrigado de Custódia-PE.

Quadro 7. Dados médios das variáveis do Extrato da pasta do Solo em relação aos solos

Solo	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CE	RAS
	----- mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> -----				dS m <sup>-1</sup>	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
S1	5,23 a	3,46 a	8,19 a	0,81 a	1,73 a	3,65 b
S2	4,63 b	3,11 b	7,44 b	0,76 a	1,57 b	3,49 a

\* As letras minúsculas iguais não difere pelo teste F ao nível (P>0,05)

Quadro 8. Dados médios das variáveis do Extrato da pasta do Solo em relação aos rejeitos

Rejeito	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CE	RAS
	----- mmol <sub>c</sub> .l <sup>-1</sup> -----				dS m <sup>-1</sup>	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
H	5,51 a	3,52 a	6,64 b	0,87 a	1,59 b	2,80 b
D	4,34 b	3,04 b	8,99 a	0,70 b	1,70 a	4,35 a

H = hidroponia, D = dessalinizador

\* As letras minúsculas iguais não diferem pelo teste F ao nível (P>0,05)

Para os tratamentos que receberam como fonte de água para lixiviação o rejeito de hidroponia os valores encontrados para sódio solúvel no primeiro e no segundo níveis de condutividades elétricas 0,54 e 1,18 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, mostram uma tendência oposta aos resultados observados para cálcio e magnésio solúveis. Isto se deve possivelmente por causa da menor quantidade de sódio encontrado nos tratamentos com rejeitos de hidroponia já que o sódio foi adicionado via fertilizantes em quantidades muito pequenas, como molibdato de sódio (0,15g m<sup>-3</sup>). Nestes tratamentos prevaleceu a concentração da solução, que era muito mais concentrada em cálcio e magnésio. Tendo como fonte de cálcio, o nitrato de cálcio (750,00g m<sup>-3</sup>) e de magnésio, o sulfato de magnésio (400,00g m<sup>-3</sup>), resultando em maiores concentração de cálcio e magnésio solúveis em detrimento a sódio solúvel. A partir da aplicação do terceiro nível de CE (1,89 ds m<sup>-3</sup>), os valores para sódio solúvel apresentam-se maiores que os encontrados para cálcio e magnésia solúveis independentemente dos rejeitos utilizados para a irrigação. Isto decorre da maior concentração de sódio presente, tanto no rejeito de hidroponia como no rejeito do dessalinizador. Isto é comprovado pela maior concentração de sódio em relação a cálcio solúvel encontrada no maior nível de salinidade (4,62 dS m<sup>-1</sup>) utilizado. Esses resultados estão coerente aos citados por Amorim et al., (2004), os quais alerta que os rejeitos dos dessalinizadores possuem potencial para contaminar solos, mananciais hídricos e até a fauna e a flora da região. Estes autores também observaram a predominância de sais de sódio (NaCl) e concluíram que a presença de elevada concentração de sódio solúvel poderá substituir o cálcio nos sítios de troca de cátions, causando a dispersão da argila do solo, contribuindo para redução da sua condutividade hidráulica.

Quadro 4 - Composição do extrato da pasta saturada dos solos depois da aplicação dos tratamentos

	Níveis	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	*CE	**RAS	
		----- mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> -----				dS m <sup>-1</sup>	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	
S1		0,54	1,78	1,47	0,95	0,69	0,47	0,75
		1,18	2,58	2,06	2,51	0,72	0,77	1,66
	H	1,89	4,40	3,20	5,69	0,79	1,34	2,92
		3,53	8,82	4,93	11,15	0,89	2,40	4,25
		4,62	10,31	6,50	14,24	1,45	3,12	4,91
		0,54	1,19	1,31	2,07	0,52	0,51	1,88
		1,18	2,34	1,79	3,71	0,62	0,85	2,60
	D	1,89	4,18	3,11	5,76	0,69	1,41	3,02
		3,53	7,61	4,02	2,64	0,86	2,40	5,31
		4,62	9,08	6,08	18,29	0,88	3,28	6,65
S2		0,54	1,76	1,43	0,81	0,56	0,44	0,65
		1,18	2,53	1,99	2,37	0,65	0,74	1,57
	H	1,89	3,96	3,17	4,47	0,71	1,22	2,38
		3,53	8,73	4,07	10,59	0,86	2,31	4,19
		4,62	10,24	6,46	13,81	1,38	3,04	4,78
		0,54	1,14	1,15	2,23	0,50	0,52	2,11
		1,18	1,99	1,80	4,71	0,61	0,96	3,43
	D	1,89	3,69	2,41	7,92	0,67	1,51	4,54
		3,53	4,49	3,55	14,13	0,83	2,42	7,05
		4,62	7,78	5,04	18,39	0,88	3,38	7,27

S1 e S2= amostras de solo; H = Rejeito de Hidropônia, D= Rejeito de Dessalinizador; \*CE = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada e \*\*RAS = relação de adsorção de sódio

O potássio solúvel apresentou valores pouco diferenciados entre os tratamentos tanto para condição irrigada com rejeito de hidroponia como para quando irrigado com rejeito de dessalinizador, mostrando um pequeno incremento para os solos estudados (argiloso e arenoso) quando foi utilizado o rejeito de hidroponia. Este incremento é provavelmente é resultante da utilização de fertilizante potássico na hidroponia. O aumento de potássio sob condição de irrigação do rejeito do dessalinizador, pode ser explicado pela capacidade dos solos no suprimento de potássio para manter o equilíbrio inicial entre as formas solúveis e trocáveis já que os solos dessa região, segundo Barros (2001) apresentam mica e feldspato em sua constituição.

Os valores de encontrados para sódio solúvel mostram o oposto, para o primeiro e segundo níveis de CE, sendo os maiores valores encontrados para os tratamentos, quando foi utilizado o rejeito do dessalinizador. De maneira geral a partir da aplicação do terceiro nível de concentração de sais, os teores de sódio solúveis são mais elevados que os encontrado para cálcio. Estes resultados são explicados pela maior quantidade de sódio presente no rejeito do dessalinizador, principalmente nos maiores níveis de CE utilizados.

Os dados obtidos para RAS e CE depois da aplicação dos tratamentos indicam aumento proporcional dessas duas variáveis com os níveis das concentrações salinas utilizadas para os solos em estudo. Pode ser verificado também, uma tendência de salinização de solos, principalmente para o ultimo nível de CE, ocorrendo um maior risco de salinização quando foi utilizado o rejeito do dessalinizador. Vale salientar que o valor limite para separação de solo salino e não salino é segundo Richards (1954) é  $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ , entretanto, muitas culturas tem sua produção reduzida muito antes desse valor. Por exemplo, Alencar et al.,(2003) constatou que a partir do valor de salinidade limiar ( $CE= 2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), o aumento de uma unidade da salinidade do solo pode resultar em decréscimo de 6,86% da matéria seca da parte aérea do meloeiro para as cultivares Gold Mine e AF-646 cultivadas até 39 dias após a sementeira. Resultados similares são relatados por Gomes et al., (2000) cita para a cultura do arroz uma condutividade limiar de  $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Para a RAS observa-se a mesma tendência, entretanto, sem risco de sodificação dos solos, um solo é considerado sódico quando apresenta uma  $RAS > 13 \text{ (mmol l}^{-1}\text{)}^{1/2}$  segundo critério descrito por Mcneal, (1976).

## CONCLUSÕES

A concentração de cálcio, de magnésio e de potássio solúveis aumentou independentemente da qualidade do rejeito utilizado, e este aumento foi proporcional aos níveis de condutividade elétrica aplicados.

A utilização da lâmina de irrigação equivalente a três volumes de poros, utilizando rejeito de dessalinizador e de hidroponia não proporcionou a salinização e nem sódificação dos solos em estudo ( $CE > 4,00 \text{ dS m}^{-1}$  e  $RAS > 13$ ).

## LITERATURA CITADA

- Alencar, R. D.; Porto Filho, F. Q.; Medeiros, J. F.; Holanda, J. S.; Porto, V. C. N.; Ferreira Neto, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigados com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n. 2, p. 221-226, 2003.
- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Silva Júnior, L. G. A. Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa. <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>. 10 Jul. 2004b.
- Barros, M. de F. C.; Fontes, M. P.; Alves, V. V. H.; Ruiz, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, Campina Grande, n. 8, p. 59-64, 2004.
- Barros, M. de F. C. Recuperação de solos salino-sódico pelo uso de gesso de jazida e calcário. Minas Gerais: UFV, 2001. 118p. (Tese de Doutorado).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de método de análises de solo. 2, Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997, 212p.
- Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. de F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, n. 3, p. 355-361, 2000.
- Magalhães, A. F. Métodos de análise químicas para solos salinos e sódicos. Recife, Departamento de Agronomia, UFRPE, 1987. 30p.

- Mcneal, B. L. Managing salt-affected soil. *Crops and Soils Magazine*, Madison, v. 12, p.12-13, 1976.
- Melo, R. M.; Barros, M. de F. C.; Santos, P. M. dos; Rolim, M. M. Correção de solos salino-sódico pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, Campina Grande, n. 4, p. 376-380, 2008.
- Pessoa, L. C. C. Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa. Fortaleza: UFC, 2000. 94p. (Dissertação Mestrado).
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington,. U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p.
- Santos, A. N. dos. Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras. Recife: UFRPE, 2009.133p.
- SAS – Statistical analysis system. Release 6.08, (software). Cary: SAS Institute, 1992. 620 p.
- Silva, V.B. Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim - PE. Recife : UFPE 2006. 86 p. (Tese Doutorado)

## **CAPÍTULO III**

**Influência da aplicação de rejeitos de dessalinizador e hidroponia,  
sobre a qualidade da água de drenagem**

## **Influência da aplicação de rejeitos de dessalinizador e hidroponia, sobre a qualidade da água de drenagem**

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas da água de drenagem em função da aplicação de lâminas de lixiviação de rejeito de dessalinizador e de rejeito de hidroponia, depois de ser utilizado no cultivo de alface no sistema hidropônico técnica do fluxo laminar de nutriente (tipo NFT), realizou-se um experimento em colunas de solo instalado no laboratório de Mecânica do solo e aproveitamento de resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial de dois de solos (argiloso e arenoso), dois tipos de rejeito (rejeito de dessalinizador e rejeito da hidroponia) e cinco concentrações salinas (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60), com três repetições. Determinou-se no lixiviado a condutividade elétrica, o sódio solúvel, o pH. A água de drenagem caracterizou-se como material potencialmente poluente em termos da concentração de sais solúveis, tornando-se impróprio para reutilização agrícola.

**Palavra- chave:** lâmina de irrigação, condutividade elétrica, sódio solúvel.

## **Abstract**

### **Influence of the application of salt machine and hydroponic system rejects, to the water drainage quality**

**Abstract:** The present work had as objective to evaluate the water drainage chemical characteristics as a function to the application of irrigation volumes of the rejects from desalt machine and from hydroponic system, after being used in the lettuce cultivation in the nutrient laminate flow (type NFT) as a hydroponic technical system. It was realized an experiment in soil columns installed in the Soil Mechanic and Residue Use Laboratory of the Universidade Federal Rural de Pernambuco. The treatments were delineated in a randomized blocks with factorial arrangement of two soils (claily and sandy), two types of reject (reject of desalt machine and reject of the hydroponic system) and five salty concentrations (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60 dS m<sup>-1</sup>), with three replicates. It was realized an experiment in soil columns installed in the Soil Mechanic and Residue Use Laboratory of the Universidade Federal Rural de Pernambuco. The treatments were delineated in a randomized blocks with factorial arrangement of two soils (claily and sandy), two types of reject (reject of desalt machine and reject of the hydroponic system) and five salty concentrations (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60 dS m<sup>-1</sup>), with three replicates. It was determined in the leached solution the electric conductivity, the soluble sodium, the pH. The drainage water was characterized as a material potentially pollutant in terms of the concentration of soluble salts, becoming inappropriate for agricultural reutilization.

**Key words:** irrigation volumes, electric conductivity, soluble sodium.

## INTRODUÇÃO

Em regiões áridas ou semi-áridas, devido à baixa precipitação pluvial, ao alto índice de evaporação e à topografia, os sais tendem a se acumular no solo em consequência da pequena lixiviação interna no perfil do solo. Dentre os fatores que favorecem os processo de salinização e sodificação, se destacam as propriedades físicas e químicas do solo, a qualidade da água de irrigação, as condições climáticas, geomorfológicas e topográficas da área.

A quantidade de sais adicionados ao solo via irrigação, é proporcional à quantidade de água aplicada, ou seja, a concentração de sais no solo cresce em função da lâmina de irrigação aplicada. Atualmente, a principal causa do aumento da salinização dos solos agrícolas tem sido devido ao manejo inadequado da irrigação. O excesso de fertilização, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada, são fatores que resultam em situações desfavoráveis que podem favorecer a degradação de solos (Michelangelo, 2008).

O acúmulo de sais no solo depende também das suas propriedades físicas e, sobretudo, das condições de drenagem do solo e do balanço de água s na zona radicular (Dias et al., 2005). Desse modo, dependendo da salinidade da água e do solo, é recomendável a aplicação de uma lâmina de lixiviação para a retirada dos sais da zona das raízes, associada a um sistema de drenagem adequado.

Para remover os sais solúveis, a lixiviação é o método mais eficaz para aplicação para correção de solos salinos. A técnica recomenda a aplicação de água em quantidade suficiente para dissolver e transportar os sais solúveis até o sistema de drenagem. A adequação da quantidade e principalmente da qualidade de água utilizada para irrigação depende de vários fatores: tipo de solo e cultura a ser implantado. Solos de baixa permeabilidade limitam a lixiviação de sais, e intensificando a salinização dos mesmo.(Barros et al., 2007).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas da água de drenagem e a condutividade hidráulica de solos em função da aplicação de lâminas de lixiviação de rejeito de dessalizador e de rejeito de hidroponia.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram coletadas duas amostras de solo (S1 e S2), na profundidade de 0-40 cm, do perímetro de Ibimirim-PE. O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos de Universidade Federal Rural de Pernambuco. Para a coleta das amostras de solos, foi utilizado o procedimento descrito por Magalhães (1987), modificada por Barros (2001). A amostra representativa de cada solo (amostra composta) foi obtida pela mistura de 20 amostras simples, composta de cinco subamostras, coletadas por meio de gradagem (trado de caneco)

A área dos solos em estudo pertence à microrregião pernambucana do sertão do Moxotó, com uma área de 9.804 km<sup>2</sup>. Quanto à classificação de Koppen, o clima é do tipo BWh4', isto é, seco de estepe. Os valores médios anuais de precipitação pluvial é cerca de 500 mm. A localização do perímetro é definida pelas seguintes coordenadas geográficas de 8°32'15" de latitude Sul, longitude oeste de Greenwich de 37°41'30" (Silva, 2006)

A caracterização do solo foi realizada em amostra seca ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2 mm de malha, retirando-se, antes desse procedimento, torrões, para obtenção da densidade do solo. O extrato de saturação foi obtido segundo a metodologia descrita por Richards (1954); determinaram-se, no extrato da pasta saturada, a condutividade elétrica (CE), o pH, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, sódio e potássio por fotometria de chama. Com os valores obtidos para cálcio, magnésio e sódio solúveis, quantificaram-se os valores para a relação de adsorção de sódio RAS, usando a expressão  $RAS = Na / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2}$  e os resultados se encontra na Quadro 1.

Quadro 1. Composição do extrato da pasta saturada dos solos

Amostra	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	*CE	**RAS
	mmol/L				- dS m <sup>-1</sup> -	(mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
S1	1,96	1,20	3,27	0,53	0,70	2,59
S2	1,57	1,14	1,52	0,54	0,49	1,16

\*CE = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada e \*\*RAS = relação de adsorção de sódio.

Na caracterização física, seguido o procedimento da EMBRAPA (1997), foram determinados: a condutividade hidráulica pelo método descrito para solos com estrutura deformada, a composição granulométrica, após lavagem com etanol a 60% até eliminação total de cloretos, a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo através do método do torrão parafinado (Quadro 2).

Quadro 2. Características físicas das amostras de solo

Amostra	Análise Granulométrica			Classe Textural	Condutividade Hidráulica cm h <sup>-1</sup>	*Ds --g cm <sup>-3</sup> --	**Dp	***PT m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
	Areia	Silte	Argila					
S1	40,24	16,00	43,76	Argiloso Franco	1,12	2,64	1,40	46,97
S2	59,60	20,00	20,40	argilo-arenoso	5,13	2,56	1,50	41,41

\*DS = Densidade do solo, \*\*DP = Densidade das partículas, \*\*\*PT = Porosidade Total

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial de dois de solos (argiloso e arenoso), dois tipos de rejeito (rejeito de dessalinizador e rejeito da hidroponia) e cinco concentrações salinas (0,53; 1,16; 1,90; 3,52; 4,60), com três repetições.

A água do dessalinizador foi proveniente de um poço tubular, equipado com um aparelho de osmose reversa, com capacidade de produzir 1200 l h<sup>-1</sup> de água dessalinizada e de rejeito. Os cinco níveis de salinidades do rejeito hidropônico (0,54; 1,19; 2,2; 3,53 e 4,62 dS m<sup>-1</sup>) utilizadas nesse estudo seguiram a metodologia descrita por Santos (2009). A composição do rejeito da dessalinização da água encontra-se descrita no Quadro 3.

Quadro 3. Composição química dos rejeitos

Rejeitos	Níveis dS m <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	*CE	**RAS	pH
		mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup>			dS m <sup>-1</sup> (mmol l <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>			
HIDROPONIA (H)	0,54	3,14	1,69	0,06	0,10	0,54	0,04	7,11
	1,18	3,84	3,25	2,99	1,68	1,18	1,59	6,96
	1,90	7,51	6,42	5,80	0,01	1,90	2,20	7,43
	3,53	9,37	12,20	15,15	0,01	3,53	4,61	7,43
	4,62	4,52	15,00	24,57	2,10	4,62	7,86	7,55
DESSALINIZADOR (D)	0,54	0,74	1,41	2,73	0,01	0,54	2,63	7,3
	1,18	1,55	3,60	6,37	0,03	1,18	3,97	7,42
	1,90	2,38	6,15	10,80	0,06	1,90	5,23	7,73
	3,53	3,33	12,92	17,90	0,12	3,53	6,28	7,86
	4,62	4,08	18,17	25,34	0,15	4,62	7,60	7,99

\*CE = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada e \*\*RAS = relação de adsorção de sódio

No rejeito do dessalinizador foram utilizados os mesmos níveis de condutividade elétrica do rejeito de hidroponia. Os níveis de salinidade do rejeito foram obtidos utilizando-se como fonte salina a água do poço e o rejeito da dessalinização da mesma. Para se atingir níveis de salinidade mais elevados, o rejeito da dessalinização foi novamente dessalinizado (sistema “by pass”), produzindo-se assim um rejeito ainda mais salino, com uma condutividade elétrica aproximadamente de 6,70 dS m<sup>-1</sup>. Para o ajuste final de forma que as condutividades elétricas (CE) do rejeito do dessalinizador atingissem os mesmo níveis das concentrações do rejeito hidropônico, foi adicionada água deionizada. A proporção da mistura, água deionizada + rejeito do dessalinizador, encontra-se no Quadro 4.

Quadro 4. Níveis de salinidade do rejeito do dessalinizador.

Rejeito do cultivo hidroponico (dS m <sup>-1</sup> )	Rejeito Concentrado do dessalinizador CE (dS m <sup>-1</sup> ) = 6,7	Água deionizada (dS m <sup>-1</sup> )	Rejeito do Dessalinizador (dS m <sup>-1</sup> )
0,54	1 ml	13,33 ml	0,54
1,18	1 ml	5,26 ml	1,18
1,90	1 ml	2,68 ml	1,90
3,53	1 ml	0,87 ml	3,53
4,62	1 ml	0,42 ml	4,62

As unidades experimentais foram constituídas de tubos plásticos de PVC com 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, tendo uma das extremidades fechada com tampas de PVC, no centro da qual foi adaptada uma torneira de 3/8 de polegada internamente. Na extremidade da coluna, foram colocadas malhas de abertura seqüenciada, de modo a simular gradiente de drenagem. As amostras de solos foram acondicionadas nas colunas de modo a se aproximarem da densidade do solo de cada amostra.

Depois as colunas de solo foram umedecidas lentamente com o rejeito até atingirem a saturação, permanecendo nesta umidade durante 24 h, para restabelecimento do equilíbrio do sistema. Em seguida, as colunas de solo foram lixiviadas com os rejeitos mantendo-se um nível constante de 2 cm acima da superfície do solo. Na lixiviação utilizou-se uma lâmina equivalente a três vezes o volume de poros (2.100 ml). No lixiviado foram determinadas: a CE, o sódio e o pH.

Os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão, testando-se diversos modelos. Os critérios para escolha do modelo foram o maior valor do coeficiente de determinação ajustado e a significância dos coeficientes da equação de regressão, utilizando o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre a variável independente lâmina de lixiviação equivalente ao volume de poros (3VP) e a variável dependente condutividade elétrica do lixiviado para o solo S1 e S2 e para os rejeitos utilizados, apresentaram elevados coeficientes de determinação, e podem ser descritas por uma função linear, encontra-se nas figuras 1, 2, 3 e 4.

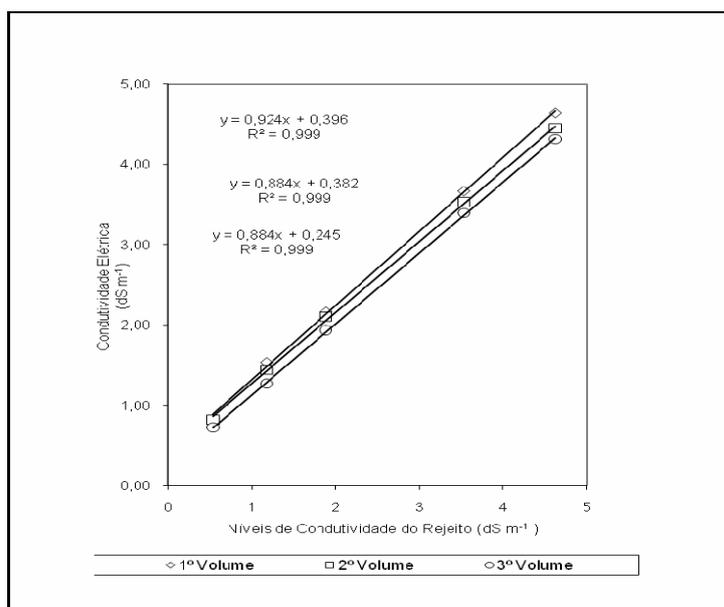


Figura 1 - Lixiviado do Solo A – CE -Rejeito do Dessalinizador

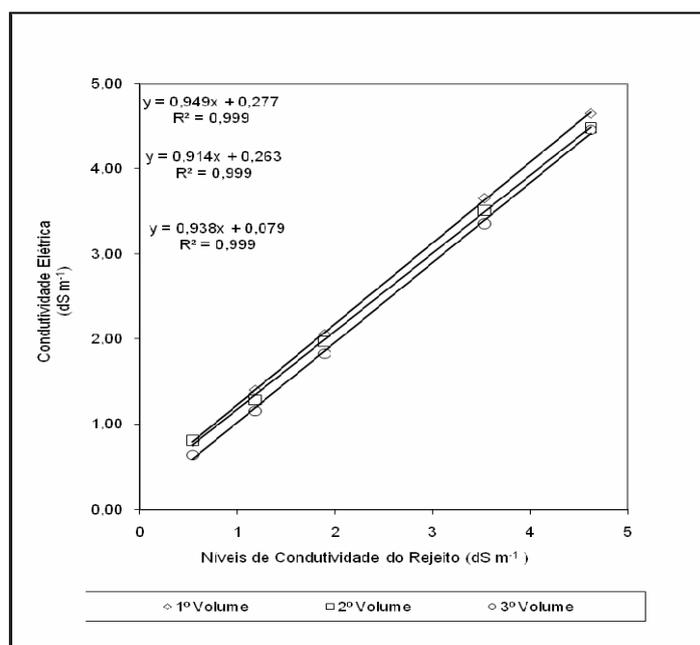


Figura 2 - Lixiviado do Solo A – CE -Rejeito do Hidroponia

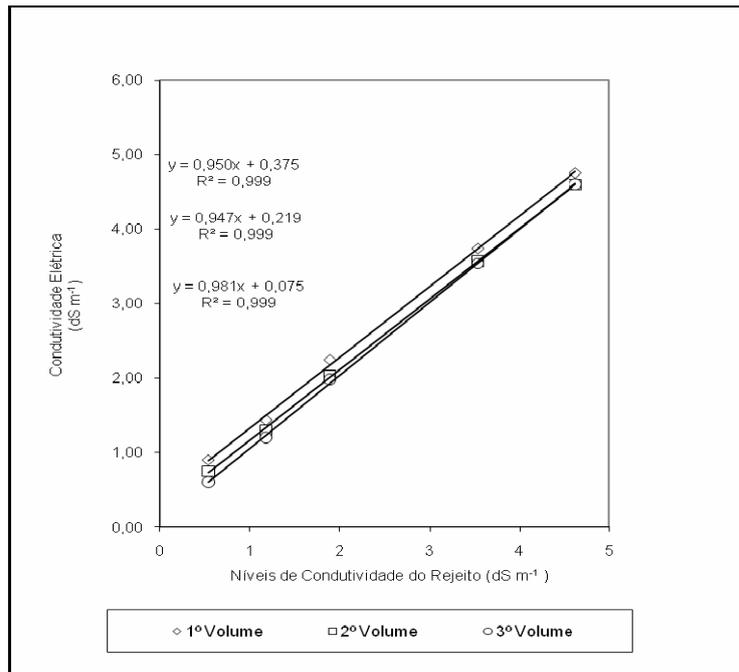


Figura 3 - Lixiviado do Solo B - CE - Rejeito da Hidropônia

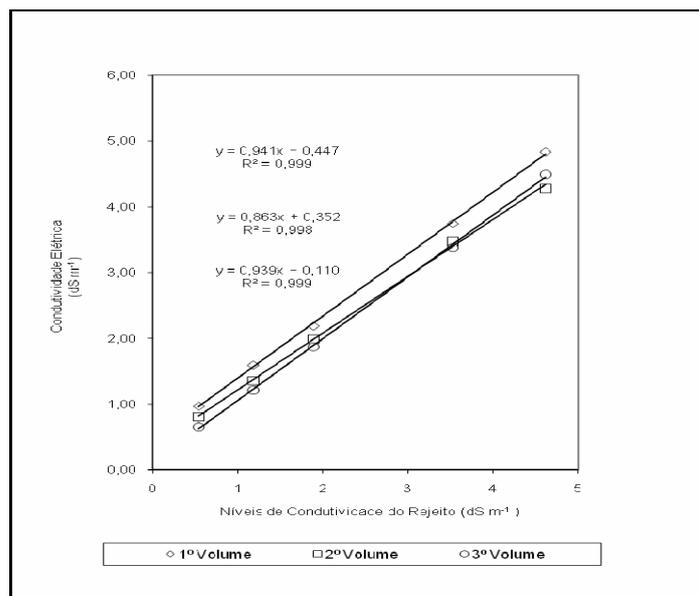


Figura 4 - Lixiviado do Solo B - CE - Rejeito do Dessalinizador

Pode ser observado que o total de sais lixiviados refletiu a distribuição de sais na coluna de solos. Este resultado está coerente com os obtidos por Barros et al. (2005) utilizando uma lâmina de água salina equivalente a três volumes de poros para lixiviação de dois solos (salino e salino-sódico) de Pernambuco. Os autores constataram que o maior decréscimo de condutividade elétrica relacionou-se com aplicação da fração de lixiviação correspondente a um volume de poro. Resultados semelhantes foram encontrados Silveira et al. (2008), trabalhando com aplicação com

gesso dissolvido na água de irrigação para aumentar condutividade hidráulica de solos não salinos, não sódicos, salinos, salino-sódicos e sódicos de Perímetro Irrigado de Custódia-PE, observaram também que o primeiro lixiviado coletado das colunas de solo apresentou os maiores valores de CE, decrescendo sucessivamente até iguala-se a CE da água utilizada na irrigação.

A relação entre o sódio solúvel em função da lâmina de lixiviação utilizada (3VP) também foi testada e os resultados estão apresentados nas figuras 5, 6, 7 e 8

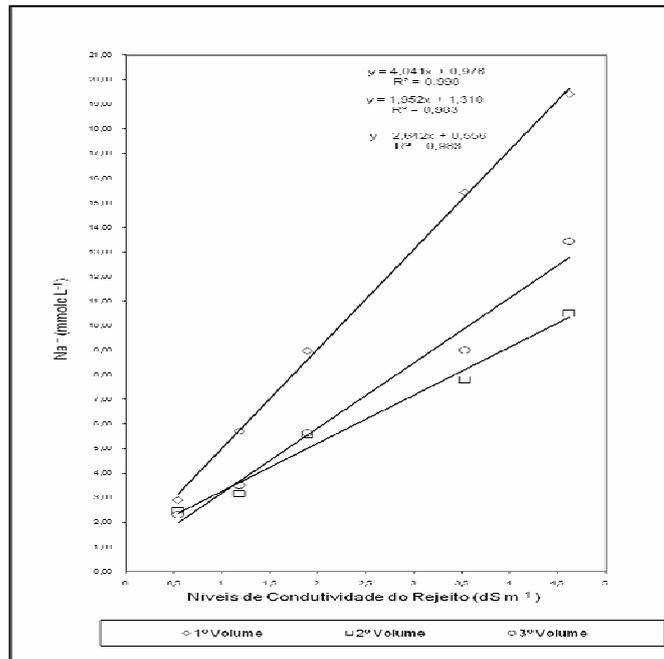


Figura 5 - Lixiviado do Solo A – Na - Rejeito do Dessalinizador

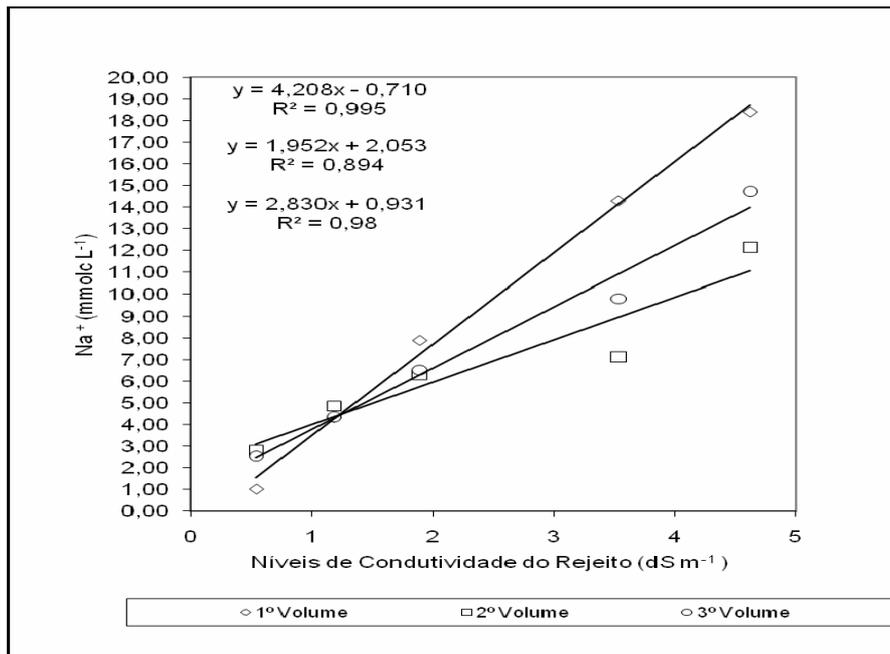


Figura 6 - Lixiviado do Solo A - Na - Rejeito da Hidropônia

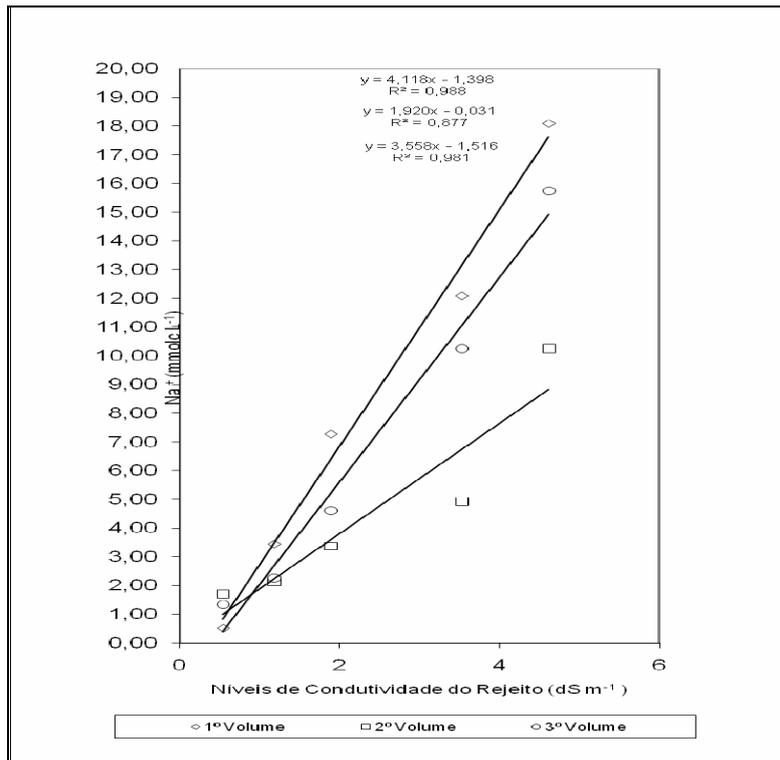


Figura 7 - Lixiviado do Solo B – Na - Rejeito da Hidropônia

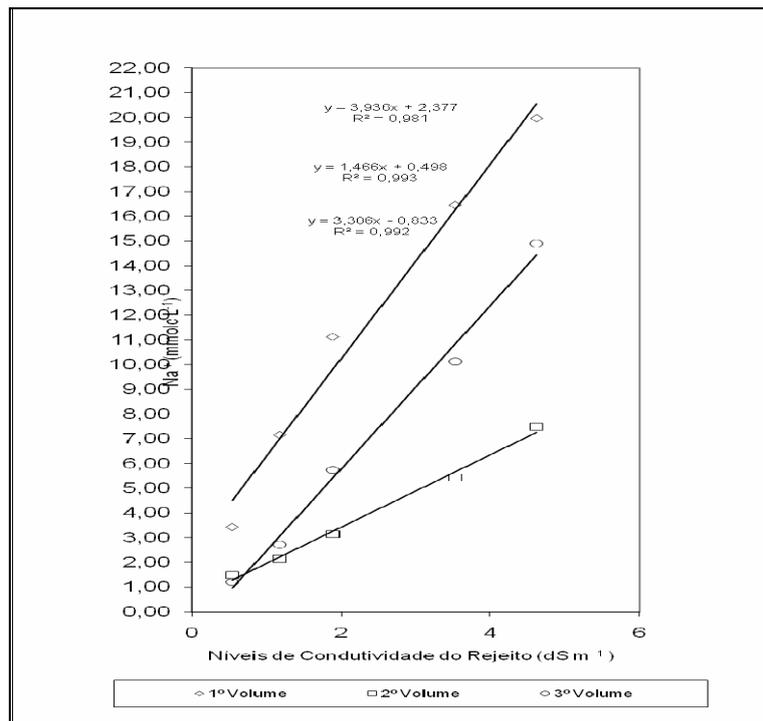


Figura 8 - Lixiviado do Solo B – Na - Rejeito do Dessalinizador

O sódio solúvel do lixiviado apresentou comportamento semelhante ao encontrado para a CE. Quando foi percolado um volume igual 1VP a concentração de

Quadro 5. Valores de Condutividade Elétrica, Sódio Solúvel e pH no lixiviado

Solo	Rejeito	Níveis	CE			Na <sup>+</sup>			pH		
			1º V	2º V	3ºV	1º V	2º V	3ºV	1º V	2º V	3ºV
S1	H	0,54	0,79	0,81	0,64	1,03	2,80	2,53	7,74	8,19	8,28
		1,18	1,40	1,29	1,15	4,33	4,86	4,35	7,68	7,97	8,11
		1,89	2,05	1,98	1,83	7,89	6,30	6,52	7,71	8,04	8,14
		3,53	3,66	3,51	3,36	14,30	7,13	9,80	7,62	7,95	8,04
		4,62	4,65	4,49	4,46	18,40	12,14	14,74	7,75	8,04	8,01
	D	0,54	0,83	0,82	0,72	2,91	2,47	2,31	7,68	8,11	8,14
		1,18	1,54	1,44	1,27	5,71	3,16	3,50	7,76	8,07	8,15
		1,89	2,17	2,10	1,93	8,97	5,57	5,63	7,84	8,12	8,07
		3,53	3,67	3,52	3,39	15,42	7,81	8,99	7,93	7,90	8,00
		4,62	4,64	4,44	4,31	19,41	10,50	13,42	7,90	7,78	7,90
S2	H	0,54	0,90	0,75	0,60	0,52	1,71	1,35	8,17	8,38	8,37
		1,18	1,43	1,30	1,20	3,45	2,15	2,27	8,16	8,29	8,31
		1,89	2,24	2,03	1,98	7,28	3,38	4,63	8,35	8,33	8,37
		3,53	3,74	3,57	3,53	12,09	4,93	10,26	8,16	8,24	8,32
		4,62	4,75	4,59	4,60	18,10	10,26	15,76	8,12	8,32	8,30
	D	0,54	0,97	0,81	0,65	3,45	1,50	1,21	8,15	8,27	8,13
		1,18	1,59	1,36	1,21	7,17	2,15	2,72	8,18	8,37	8,40
		1,89	2,19	1,99	1,87	11,14	3,16	5,74	8,32	8,34	8,37
		3,53	3,74	3,48	3,38	16,46	5,44	10,13	8,37	8,03	8,13
		4,62	4,83	4,28	4,49	19,97	7,50	14,90	8,31	7,93	8,02

sódio solúvel apresentou-se um pouco mais elevada quando comparada com a lixiviação utilizando as lâminas de dois e três volumes de poros e este aumento foi maior quando foi utilizado para lixiviação o rejeito do dessalinizador. Estes resultados provavelmente são devidos a maior concentração de sódio solúvel encontrada no rejeito do dessalinizador. Resultados similares foram observados por Soares et al. (2005) em trabalho utilizando para irrigação água proveniente da dessalinização e o rejeito desta, na produção de mudas cítricas, os autores observaram um crescimento significativamente superior das plantas irrigadas com água dessalinizada, em comparação com as irrigadas com água do rejeito da dessalinização.

Avaliando o efeito da aplicação das águas de irrigações dos rejeitos de dessalinizador e da hidropônia sob o pH do lixiviado para os solos arenoso e argiloso (Quadro 5), observa-se um pequeno incremento no pH para o solo arenoso quando comparado com o argiloso, demonstrando que há uma relação direta entre o pH e a concentração de sais presente no lixiviado. Os resultado de pH obtidos na terceira lâmina de lixiviação indica comportamento oposto aos obtidos para condutividade elétrica, enquanto que os valores para CE diminuíram, para os valores de pH ocorreu um pequeno aumento. É possível este aumento esteja relacionado com a redução da concentração totais de sais presente na solução, e conseqüentemente, diminuição do efeito tamponante dos sais, concordando, desta forma com os resultados obtidos por Silveira et al. (2008), trabalhando com solos da região semi-árida de Pernambuco.

## CONCLUSÃO

A água de drenagem caracterizou-se como material potencialmente poluente em termos da concentração de sais solúveis, tornando-se impróprio para reutilização agrícola.

## LITERATURA CITADA

- Barros, M. de F. C. Recuperação de solos salino-sódico pelo uso de gesso de jazida e calcário. Minas Gerais: UFV, 2001. 118p. (Tese de Doutorado).
- Barros, M. de F. C.; Santos, P. M.; Ferras, F. B. Qualidade da água de drenagem de solos degradados pela salinização e sodificação depois da aplicação de gesso e calcário e de lâmina de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.1, p.363-378, 2008.
- Barros, M. F. C. de; Fontes, M, P. F.; Alvares, V. V. H; Ruiz, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.8, n.1, p.59-64, 2004.
- Chaves, L. H. G.; Vasconcelos, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. 2006 v.10 n. 1 p. 84-88.
- Dias, N. da S.; Duarte, S. N.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. de; Soares, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.496-504, 2005
- Ferreira, P. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. et al. Sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de água salinas de irrigação. In: XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Cuiabá: UFMT, p.13-13, 2002.
- Magalhães, A. F. Métodos de análise químicas para solos salinos e sódicos. Recife, Departamento de Agronomia, UFRPE, 1987. 30p.
- Melo, M. R.; Barros, M. F. C. de; Santos, P. M.; Rolim, M. M. Correção de solos salino-sódico pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.4, p.376-380, 2008.
- Oliveira, F. de A de ; Medeiros, J. F. de; Oliveira M. K. T.; Lima, C. J. G. de S.; Galvão, D. de C. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca “jade” irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. *Revista Verde*, Mossoró- RN, v.2, n.1, p.45-52, 2001

- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Dutra, M. T.; Paulino, R. V.; Brito, L. T. de; Matos, A. N. B. Rendimento de *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de rejeito de dessalinização da água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p.97-103
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, L. G. de A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington,. U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington,. U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p.
- Santos, A. N. dos. Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras. Recife: UFRPE, 2009.133p.
- Silva, M. de O.; Freire, M. B. G. dos S.; Mendes A. M. S.; Freire, F. J.; Sousa, C. E. S. de; Goés, G. B. de. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.6, p.593-605, 2008.
- Silva, V. B. Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim – PE, 2006. 86 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006.