

ANTONIO NOVAIS TAVARES FILHO

**NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS  
FÍSICO-QUÍMICAS E NA CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS  
DO PERÍMETRO IRRIGADO DE IBIMIRIM-PE**

RECIFE  
PERNAMBUCO  
2010

ANTONIO NOVAIS TAVARES FILHO

**NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS  
FÍSICO-QUÍMICAS E NA CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS  
DO PERÍMETRO IRRIGADO DE IBIMIRIM-PE**

Dissertação apresentada á Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em “Engenharia Agrícola”, Área de Concentração Manejo Integrado de Água e Solo

Orientadora: DSc. Maria de Fatima Cavalcanti Barros

RECIFE  
PERNAMBUCO  
2010

Ficha catalográfica

T231n Tavares Filho, Antonio Novais  
Níveis da necessidade de gesso sobre as características físico-químicas e na correção de solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Ibimirim - PE / Antonio Novais Tavares Filho – 2010.

81 p. : il.

Orientadora: Maria de Fatima Cavalcanti Barros  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Tecnologia Rural, Recife, 2010.

Inclui referências e anexos.

1. Salinidade 2. Lâmina de lixiviação 3. Sodicidade  
I. Barros, Maria de Fatima Cavalcanti, orientadora II. Título

CDD 631.41

ANTONIO NOVAIS TAVARES FILHO

**Níveis da Necessidade de Gesso sobre as Características Físico-Químicas e na  
Correção de Solos Salino-Sódicos do Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE**

Dissertação defendida e aprovada em 14 de maio de 2010 pela banca examinadora:

Orientadora:

---

**Maria de Fatima Cavalcanti Barros, Prof. DSc.  
UFRPE**

Examinadores:

---

**Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. Ph.D.  
UFRPE**

---

**Ênio Farias de França e Silva, Prof. DSc.  
UFRPE**

---

**Tales Miler Soares, Prof. DSc.  
UFRB**

*“ Algo só é impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário ”*

**Albert Einstein**

*“ Todos nós temos talentos diferentes, mas todos nós gostaríamos de ter iguais oportunidades para desenvolver os nossos talentos ”*

**John Kennedy**

*“Muitos dos fracassos desta vida estão concentrados nas pessoas que desistiram por não saberem que estavam muito perto da linha de chegada ”*

**Tomas Alva Edison**

*A Deus pela presença constante na minha vida,  
sem que precise pedir, pelo auxílio nas minhas  
escolhas e por me confortar nas horas mais difíceis.*

## ***OFEREÇO***

*A minha querida esposa Elvira, presente em todos  
os meus caminhos, pelo seu amor, amizade,  
incentivo e compreensão.*

## ***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

*A professora Dra. Maria de Fatima Cavalcanti Barros, por sua orientação e pelo conhecimento científico transmitido.*

*Ao professor Dr. Matheus Rosas Ribeiro que me orientou como aluno de iniciação científica durante o curso de Graduação.*

*Aos professores de pós-graduação, em especial aos docentes Dr. Mário Monteiro Rolim, Dr. Marcus Metri Correa, Dr. Ênio Farias de França e Silva e Dra. Elvira Maria Regis Pedrosa, pela contribuição que deram ao meu crescimento pessoal e profissional ao longo do curso.*

*Ao engenheiro agrônomo Rafael Fernandes que ajudou na montagem da estrutura experimental da presente pesquisa.*

*Aos colegas de mestrado, Tafnes, Roberto, Matheus, Manoel, Bianca, Leila, Waldirene, Gledson, Eduardo, Yoly, Lúcio e Mércia.*

*Ao programa de pós-graduação em engenharia agrícola, pela disponibilidade dos laboratórios e ajuda dos funcionários que proporcionaram o desenvolvimento desta dissertação.*

*Aos estudantes de graduação em engenharia agrônômica, especialmente, Anthony, André, Hemerson, Almeida, Marcelo e Marcus.*

*Aos meus colegas de trabalho da Secretaria de Desenvolvimento e Articulação Regional - SEDAR, Cristiane, José Mário, Anastácia, Eliane, Oswaldo, Maria Galberianny, Francisco, Nadja Maria, Rosana, Ana Luísa, Elienai Júnior, Vinícius, Lúcia, Cláudio e Antônio Cerqueira, pela amizade, convivência e pelo apoio em todos os momentos difíceis.*

*Aos meus pais, Antônio e Cristiana, que despertaram no meu coração a paixão pelas ciências agrárias, durante o período em que residi na zona rural do município de Jardim-CE.*

*Aos meus queridos irmãos, Urias, Rafael, Felipe, e principalmente, Daniela pelos momentos em que passamos juntos na fase estudantil.*

*A minha querida filha Maria Eduarda.*

*Aos meus sogros, Osmar e Alba, que incentivaram e apoiaram a continuidade dos meus estudos e por sempre acreditar no meu potencial.*

*Aos meus cunhados Osmar, Rodolfo e Marcelo.*

*Aos meus primos, primas e amigos, em especial, Maurício, Marcel, Herbie, Herbet, Elizeu, Júnior, João e Cristiano.*

*Aos meus avôs, Antônio, Ernani, Maria Celme e Lizete pelo carinho e atenção.*

*A minha tia avó Maria pelas palavras de apoio, pela aprendizagem e pelos momentos felizes.*

*Aos meus tios e tias, especialmente, Francisco Carlos, Hildegardes, Maria Zita e Maria Célia pelos ensinamentos, conselhos e momentos de lazer.*

*Ao meu tio Francisco e primo Eugênio, engenheiros agrônomos.*

*A todos que participaram diretamente ou indiretamente para a conclusão desta tarefa, deixo aqui a minha mais profunda gratidão.*

# SUMÁRIO

Páginas

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Formação de solos afetados por sais.....	3
2.2. Características físicas dos solos.....	4
2.2.1. Estabilidade de agregados.....	4
2.2.2. Flocculação e dispersão.....	5
2.2.3. Condutividade hidráulica em meio saturado ( $K_o$ ).....	6
2.3. Características químicas.....	9
2.3.1. Relação de Adsorção de sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CE).....	9
2.4. Classificação dos solos afetados por sais.....	10
2.5. Correção de solos afetados por sais.....	12
2.6. O gesso e seu efeito sobre as características físicas e químicas e na correção de solos salino-sódicos.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Área de coleta de solos.....	17

3.2. Descrição da área de estudo.....	18
3.3. Caracterização do solo .....	20
3.3.1. Determinação da necessidade de gesso (NG).....	23
3.4. Ensaio em colunas de PVC.....	23
3.5. Descrição dos Níveis da Necessidade de Gesso.....	24
3.6. Método de aplicação do corretivo.....	24
3.7. Local do experimento e as unidades de experimentais.....	24
3.8. Acondicionamento dos solos.....	25
3.9. Condução do experimento.....	25
3.10. Análises estatísticas.....	27
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
4.1. Condutividade Elétrica (CE) e Sódio (Na <sup>+</sup> ) na solução drenada.....	28
4.2. Condutividade hidráulica saturada (Ko) e Grau de Flocculação (GF).....	33
4.3. Cátions solúveis, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CE) no Extrato da Pasta de Saturação do Solo .....	36
4.4. Sódio trocável (Na <sup>+</sup> ), Percentagem de Sódio Trocável (PST) e pH.....	41
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>7. ANEXO.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

### Páginas

<b>Figura 01. Vista da área de coleta da amostra composta do solo S1.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 02. Vista da área de coleta da amostra composta do solo S2.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 03. Mapa do Sertão do Moxotó com destaque para Ibimirim-PE .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 04. Unidades experimentais utilizadas no estudo da correção da salinidade e sodicidade das amostras de solos coletadas no Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 05. Vista da coleta da solução drenada para determinação da condutividade hidráulica saturada, condutividade elétrica e sódio.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 06. Preparo da pasta de saturação das amostras de solos e análise do grau de floculação após aplicação dos tratamentos.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 07. Condutividade elétrica da solução drenada das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 08. Sódio solúvel da solução drenada das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 09. Condutividade hidráulica saturada das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 10. Grau de floculação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....</b>	<b>35</b>

**Figura 11. Sódio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....39**

**Figura 12. Relação de adsorção de sódio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....39**

**Figura 13. Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....40**

**Figura 14. Cálcio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....40**

**Figura 15. Sódio trocável das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....43**

**Figura 16. Percentagem de sódio trocável das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....44**

**Figura 17. pH das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso.....44**

## LISTA DE TABELAS

### Páginas

<b>Tabela 01. Classificação de solos afetados por sais.....</b>	<b>10</b>
<b>Tabela 02. Características no extrato da pasta de saturação dos solos.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 03. Características químicas das amostras de solos.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 04. Características físicas das amostras de solos.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 05. Resultados da média da condutividade elétrica e do sódio da solução drenada.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 06. Resultados da média da condutividade hidráulica saturada e do grau de flocculação das amostras de solos.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 07. Resultados da média dos cátions solúveis, da relação de adsorção de sódio e da condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação das amostras de solos.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 08. Resultados da média do sódio trocável, percentagem de sódio trocável e pH das amostras de solos.....</b>	<b>42</b>

**NÍVEIS DA NECESSIDADE DE GESSO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS  
FÍSICO-QUÍMICAS E NA CORREÇÃO DE SOLOS SALINO-SÓDICOS  
DO PERÍMETRO IRRIGADO DE IBIMIRIM-PE**

**Autor:** Antonio Novais Tavares Filho

**Orientadora:** DSc. Maria de Fatima Cavalcanti Barros

**RESUMO**

Em regiões de clima árido e semiárido, devido às altas taxas de evaporação e a baixa precipitação pluviométrica anual, ocorre a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e/ou sódio trocável, afetando diretamente suas características físicas e químicas, limitando ou até mesmo impedindo o crescimento das plantas. Esse problema é antigo, mas sua magnitude e intensidade vêm aumentando devido à adoção de práticas agrícolas inadequadas, especialmente em áreas de solos mais sensíveis ao processo de degradação natural. Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação do gesso na alteração das características físico-químicas de solos salino-sódicos coletados no Perímetro Irrigado de Ibimirim-pe, um experimento foi realizado em colunas de solo instaladas no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. Os tratamentos foram dispostos num delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial de dois solos (S1 e S2) e sete níveis da necessidade de gesso (50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200%) determinado pelo Método de Laboratório Schoonover-M1. O gesso foi incorporado ao solo, em três repetições, totalizando 42 unidades experimentais. Os parâmetros avaliados foram: a Condutividade Elétrica (CE), cátions solúveis e Relação de Adsorção de Sódio (RAS) no extrato da pasta de saturação do solo; o sódio e a Percentagem de Sódio Trocável (PST), a CE e o sódio solúvel da solução drenada; a condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ) e o grau de flocculação (GF). O nível de 100% da necessidade de gesso causou diminuição da sodicidade para valores de  $RAS < 13 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  e  $PST < 15\%$ , apresentando-se como método eficiente na redução dos

teores de sódio trocável em áreas afetadas por sais. A lâmina de lixiviação de três vezes o volume de poros reduziu a CE para valores  $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo indicada para a correção da salinidade dos solos em estudo. As quantidades crescentes dos níveis do corretivo provocaram aumento na condutividade hidráulica saturada dos solos e no grau de flocculação.

**Palavras chave:** salinidade, lâmina de lixiviação e sodicidade

**LEVELS OF GYPSUM REQUIREMENT ON THE PHYSICO-CHEMICAL  
CHARACTERISTICS AND IN THE CORRECTION OF SALINE-SODIC  
SOILS IN THE IRRIGATED PERIMETER OF IBIMIRIM-PE**

**Author:** Antonio Novais Tavares Filho

**Adviser:** DSc. Maria de Fatima Cavalcante Barros

**ABSTRACT**

In regions of arid and semiarid weather, due to high evaporation rates and low annual rainfall, there is the formation of soils with high levels of soluble salts and / or exchangeable sodium, affecting directly their physical and chemical characteristics, limiting or even preventing plant growth. This problem is old, but its magnitude and intensity have been increasing due to the adoption of inappropriate farming practices, especially in areas where soils are more susceptible to natural degradation process. Aiming to evaluate the effect of gypsum on the modification of physico-chemical properties of saline-sodic soils collected in the Irrigated Perimeter of Ibimirim-PE, an experiment was carried out in soil columns installed in the Laboratory of Soil Mechanics and Utilization Waste from the Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. The treatments were arranged in a completely randomized design with factorial arrangement of two soils (S1 and S2) and seven levels of gypsum requirement (50, 75, 100, 125, 150, 175 and 200%) determined by the Method Laboratory Schoonover -M1. The plaster was incorporated to the soil in three replicates, totaling 42 experimental units. The parameters evaluated were: Electrical Conductivity (EC), Soluble Cations and Sodium Adsorption Ratio (SAR) in the saturation paste extract of soil, the sodium and Exchangeable Sodium Percentage (ESP), the EC and the soluble sodium of solution drained, saturated hydraulic conductivity (Ko) and degree of flocculation (DF). The level of the 100% of plaster need caused decreased of sodicity to values of SAR < 13 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> and ESP <15%, presenting itself as an effective method in reducing the levels of

exchangeable sodium in salt-affected areas. The water depth of three times the volume of pores decreased the EC of folder saturation to values  $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ , is indicated for the correction of soils salinity in the study. Increasing amounts of the levels of correctives resulted in increased levels of saturated hydraulic conductivity of soils and degree of flocculation.

**Key words:** salinity, water depht and sodicity.

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos afetados por sais normalmente ocorrem nas regiões áridas e semiáridas e constituem em fator limitante da produção agrícola. Em condições naturais, a acumulação de sais no solo é resultado das altas taxas de evaporação, baixa precipitação pluviométrica, de características do material de origem e das condições geomorfológica e hidrogeológica locais (Barros et al., 2004). Estes solos contêm sais solúveis e/ou sódio trocável que podem reduzir significativamente o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (Barros et al., 2009, Silveira et al., 2008).

Os solos degradados por sais ocupam extensas áreas, caracterizam-se por apresentar atributos físicos e químicos desfavoráveis, principalmente, elevada concentração de sais solúveis e de sódio trocável, baixa permeabilidade, elevada densidade global, reduzida infiltração de água, restrições ao crescimento radicular e à produção vegetal.

Dentre as práticas de correção de solos afetados por sódio trocável o uso de corretivos neutros, como o gesso, ou de reação ácida, como ácido sulfúrico e enxofre, constituem alternativa para a melhoria química e física desses solos. Entretanto, para o uso destes últimos a eficiência depende da presença de  $\text{CaCO}_3$  no solo (Richards, 1954 & Holanda et al., 1998).

De acordo com Barros et al. (2004), a quantidade de gesso necessário para reduzir a sodicidade dos solos salino-sódicos e sódicos pode ser calculada em função da percentagem de sódio trocável que se deseja substituir, da capacidade de troca de cátions do solo e da profundidade do solo a ser recuperada; ou pode ser determinada por um teste de laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso.

Os métodos de laboratório baseiam-se em adaptações do Método de Schoonover (1952) descrito por Richards (1954); entretanto, sais solúveis presentes no solo interferem na determinação da necessidade de gesso. Modificação nesta metodologia, para eliminação da interferência de altos teores de cálcio e magnésio solúveis em solos salino-sódicos de Pernambuco, são apresentadas por Barros & Magalhães (1989).

Na literatura nacional são poucas as informações tanto em relação à correção de solos afetados por sais, como também das modificações das características físico-químicas após o uso do gesso incorporado.

A salinização e/ou sodificação do solo é responsável pela redução da produção agrícola, culminando quase sempre no abandono de lotes nos Perímetros Irrigados, acarretando grandes prejuízos à economia regional e nacional. Diante do exposto fica evidenciado que a correção de solos salino-sódicos do município de Ibimirim-PE se faz necessária para que estas áreas sejam reincorporadas ao sistema de produção.

**Os objetivos da pesquisa foram:**

- testar a eficiência do gesso na correção de solos salino-sódicos, em função da estimativa de laboratório no deslocamento do sódio trocável do complexo sortivo;

- verificar a influência da lâmina de lixiviação na diminuição do caráter salino dos solos estudados;

- avaliar o efeito da aplicação dos níveis da necessidade de gesso sobre as características físico-químicas dos solos salino-sódicos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Formação de solos afetados por sais

Os solos afetados por sais são encontrados, em sua maioria, nas regiões de clima árido e semiárido, onde o acúmulo de sais se dá pela elevada evaporação e precipitação anual insuficiente para que ocorra a lixiviação dos sais da zona radicular (Barros et al., 2004). Esse problema é antigo, mas sua magnitude e intensidade vêm aumentando, devido à adoção de práticas de manejo e procedimentos de correção inadequados. Estima-se que pelo menos três hectares potencialmente aráveis são perdidos a cada minuto em todo o mundo, devido aos processos de salinização e sodificação (Qadir et al., 1998; Keiffer & Ungar, 2002).

A fonte da qual provém esses sais são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas expostas da crosta terrestre. Durante o processo de intemperização química, que implica em reações de hidrólise, hidratação, dissolução, oxidação e carbonatação, os constituintes são liberados gradualmente e se tornam solúveis. A água subterrânea transporta e acumula os produtos solúveis das reações de intemperização transferindo sais solúveis de uma área para outra, desempenhando importante papel na salinização e sodificação dos solos (Richards, 1954; Ferreira, 2002).

A salinização dos solos pode ser originada por diversos fatores: as altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, associadas às características do material de origem e às condições de relevo, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Montenegro et al., 2001). Além das causas naturais, o homem pode também induzir ou incrementar a salinização do solo, principalmente com o uso de água salina na irrigação, bem como com a elevação do lençol freático pelo excesso de irrigação associado a uma drenagem insuficiente nos solos de baixa condutividade hidráulica (Montenegro & Montenegro 2004).

A quantidade de  $\text{Na}^+$  do complexo de troca começa a ser relevante quando este cátion constitui a metade ou mais da Relação de Adsorção de Sódio do solo. Nessas condições, o  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , por serem menos solúveis, precipitam-se à medida que a solução do solo se concentra, em consequência da

evapotranspiração, deixando o  $\text{Na}^+$  como principal cátion na solução. Dessa forma, o  $\text{Na}^+$ , apesar de ter o menor poder de troca, consegue deslocar os outros cátions por ação de massa. O processo da passagem do  $\text{Na}^+$  para o complexo de troca chama-se solodificação e constitui a primeira etapa do processo de sodificação, levando à formação dos solos salino-sódicos (Camargo et al., 1987).

O efeito dos sais sobre o solo ocorre basicamente pela interação eletrolítica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a dispersão da argila, devido à predominância de cargas negativas, de íons de sódio e das forças repulsivas na dupla camada difusa. Este fenômeno reduz a floculação e a estabilidade de agregados do solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (Lima, 1997).

## **2.2. Características físicas dos solos**

### **2.2.1. Estabilidade de agregados**

O estado de agregação do solo é de suma importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração do meio, suprimento de nutrientes, resistência mecânica à penetração das raízes, retenção e armazenamento de água. Solos de boa estabilidade estão menos sujeitos à compactação e à erosão.

Das três classes de partículas primárias do solo, argila, areia e silte, a argila é a mais importante para a estabilidade de agregados. Esta fração exerce domínio sobre o comportamento físico-químico do solo em virtude da pequena dimensão, o que aumenta significativamente sua carga de superfície (Dufranc et al., 2004).

A formação de agregados no solo tem relação direta com a floculação. Solos que possuem dupla camada difusa menos espessa apresentam-se em condição de floculação da argila, possibilitando a formação de agregados mais estáveis em água. Solos com proporções elevadas de  $\text{Na}^+$  tendem a permanecer dispersos. Altas estabilidades de agregados e baixos teores de argila dispersa em água representam importantes indicativos da estabilidade estrutural do solo (Rodrigues Neto, 1996).

Em revisão de literatura, Bronick e Lao (2005) demonstram que a estrutura do solo é frequentemente expressa como grau de estabilidade de agregados. A agregação é resultante do rearranjo, floculação e cimentação das partículas do solo e é mediado pelo carbono orgânico do solo, biota, ligantes orgânicos, argila e carbonatos. O carbono inorgânico do solo aumenta a agregação em ambientes áridos e semiáridos e a formação de carbonatos secundários é influenciada pela presença de carbono orgânico e teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . A biota do solo disponibiliza  $\text{CO}_2$  e formas de carbono orgânico os quais aumentam a solubilidade de carbonatos primários, enquanto que a presença de cátions com  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  aumentam a precipitação de carbonatos secundários. A precipitação de óxidos, fosfatos e carbonatos aumenta a agregação. Cátions como  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{+2}$  estimulam a precipitação de componentes que agem como agentes cimentantes das partículas primárias do solo.

A importância da argila e da matéria orgânica na estabilização dos agregados frequentemente sobrepõe à dos cátions (Dufranc et al., 2004). De acordo com o modelo proposto, cátions polivalentes são cruciais para unir a fração orgânica e os minerais de argila, sem essa união, as frações argila e orgânica se dispersariam, pois ambas têm cargas negativas. Os cátions trocáveis do solo influenciam, dessa forma, de maneira significativa o processo de agregação, de acordo com a série liotrópica da química coloidal (Alumínio > hidrogênio > cálcio > potássio=amônio > sódio). A remoção do sódio, após a adição de gesso reduz a dispersão das argilas, o que indiretamente, também proporciona aumento da estabilidade estrutural de agregados, da condutividade hidráulica e da lixiviação dos sais.

Silveira et al. (1999), avaliando o uso do gesso incorporado a um solo salino-sódico sobre a formação e estabilidade de agregados, observou uma tendência de formação de novos agregados mais estáveis e o aumento substancial da condutividade hidráulica de um solo salino-sódico da Paraíba.

## **2.2. Floculação e dispersão**

A dispersão da argila do solo pode ser provocada pela qualidade da água aplicada no solo, seja por precipitação natural, irrigação ou fertirrigação, por estar associada a uma possível alteração das relações entre os diversos cátions

presentes no solo. Para Veloso (1991) essas alterações podem trazer eventuais deteriorações na estrutura do solo, afetando o sistema de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica do mesmo.

A consequência do aumento da dispersão da argila também é constatada com a redução na estabilidade de agregados do solo, ficando a fração argila em condições de ser facilmente transportada, sob condições de chuva e irrigação para horizontes subsuperficiais do solo (Silva, 2003).

Dois mecanismos têm sido propostos para explicar a redução da permeabilidade do solo em condições de alta percentagem de sódio trocável: a expansão e a dispersão dos minerais de argila. Vários trabalhos (Quirk & Schofield, 1955; Oster & Shainberg, 1980; Girdhar & Yadav, 1980) relatam que em solos com altos teores de cálcio trocável esta expansão é muito menor que em solos com elevados teores de sódio. A expansão causa o fechamento dos poros interagregados, além disso, a pressão originada desta expansão empurra as partículas individuais de argila de encontro umas às outras. O solo se dispersa e os agregados se desfazem. As partículas finas do solo que estão soltas movimentam-se desuniformemente nos poros do solo, reduzindo assim sua permeabilidade à água.

A dispersão do sistema coloidal é inversamente proporcional à ordem de energia de retenção dos cátions monovalentes:  $Li > Na > Rb > Cs$ . Por outro lado, os cátions polivalentes têm alto poder de floculação. O poder floculante dos cátions aumenta de acordo com as sequências: mono, di e trivalentes (Gjorup, 1992).

Rengasamy (1983) verificou menor dispersão em solos com maiores teores de cálcio e magnésio, enfatizando que cátions divalentes formam pontes de cátions com as partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo.

### **2.2.3. Condutividade hidráulica em meio saturado ( $K_o$ )**

A condutividade hidráulica é um parâmetro que traduz a rapidez com que este conduzirá a água ao longo do seu perfil, sendo uma propriedade importante na determinação quantitativa e qualitativa do movimento da água. A equação que melhor quantifica o movimento de água no solo é a estabelecida por Darcy-

Buckingham. Nela a constante de proporcionalidade entre densidade do fluxo e o gradiente de potencial total da água denomina-se condutividade hidráulica, a qual varia em função da umidade do solo, sendo tanto maior quanto mais úmido o solo, atingindo o seu valor máximo na saturação.

A condutividade hidráulica representa à maior e a menor facilidade com que a água pode fluir através dos poros do solo:

O fluxo de água nos solos é normalmente controlado pela lei de Darcy, pela seguinte equação:

$$V = K \cdot i \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde  $i$ , gradiente hidráulico, é calculado por:

$$i = \frac{H}{L} \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde:

$V$  = Velocidade média em  $\text{cm h}^{-1}$

$K$  = Condutividade hidráulica saturada

$H$  = Diferença de carga entre dois pontos

$L$  = Diferença entre os dois pontos

A condutividade hidráulica em solos saturados pode ser determinada por meios de ensaios de laboratório ou de campo. Em laboratório os principais ensaios para a sua determinação são os seguintes:

- a) permeâmetro de carga constante;
- b) permeâmetro de carga variável;
- c) determinação indireta através do ensaio de adensamento.

A determinação da condutividade hidráulica pode ser feita por métodos de laboratório e de campo. A escolha dos métodos depende de alguns fatores como disponibilidade de equipamentos, natureza do solo, tipo de amostra disponível, experiência e conhecimento do pesquisador, faixa de tensão a ser estudada e objetivo das determinações (Carvalho et al., 2004).

Dentre os vários métodos de laboratório existentes, é recomendado o uso do permeâmetro de carga constante na determinação da condutividade hidráulica, quando o propósito é de estudar a influência da variabilidade do solo e suas características como textura, estrutura, compactação, salinidade, qualidade de água, dentre outros no movimento de água em solo saturado (Millar, 1978).

A condutividade hidráulica saturada não permanece constante no mesmo solo, devido às variações contínuas dos processos, químicos, físicos e biológicos, que ocorrem continuamente, como por exemplo, a alteração do complexo de íons trocáveis e a migração das partículas durante o fluxo (Klar, 1984; Reichart, 1978).

Os termos de condutividade hidráulica e permeabilidade são denominados usualmente como sinônimos. Lima et al. (1990) adaptaram as classes de permeabilidade pela classificação de Soil Survey Staff (1951), para as condições brasileiras são elas: > 25,3; 24,4 a 12,7; 12,7 a 6,35; 6,35 a 2,00; 2,00 a 0,50; < 0,50  $\text{cm h}^{-1}$ , classificados em rápida, moderada a rápida, moderada, lenta a moderada, lenta e muito lenta, respectivamente.

Segundo Ghiberto et al., (2007), a redução nos valores de  $K_0$  pode estar associada ao desarranjo e alteração dos agregados do solo, resultando num colapso dos macroporos, redução no tamanho dos poros, aumento da tortuosidade, obstrução dos poros causados por colóides orgânicos e dispersão de partículas minerais.

Os fatores que interferem na medição do fluxo de água no solo foram relatados por Youngs (1995). Estes incluem a influência da fase gasosa, os efeitos da heterogeneidade das propriedades do solo, o fenômeno da expansão e contração, agregação e dispersão, desvios da lei de Darcy, efeitos térmicos e relações de histerese da água.

A  $K_0$  pode descrever o sistema poroso de um solo, englobando propriedades tais como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Seus valores têm sido utilizados para caracterizar a estrutura e a estabilidade dos agregados em água (Mesquita, 2001).

## **2.3. Características químicas**

### **2.3.1. Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CE)**

A classificação da água proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na CE como indicadora de risco de salinização do solo e na RAS como indicadora do perigo de sodicidade do solo.

A RAS da água de irrigação é uma característica indicadora dos possíveis problemas de infiltração que um solo poderá apresentar como resultado do excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio. A equação matemática da RAS está baseada na expressão do coeficiente de seletividade de troca de cátions de Gapon. Entretanto alguns autores questionam a forma de cálculo por não levar em consideração a formação de complexos solúveis de sódio, cálcio e magnésio, que pode ocorrer principalmente em águas que contenham quantidades significativas de sulfato, bicarbonato ou carbonato (Maia et al., 1998).

A CE é uma medida da capacidade de transportar corrente elétrica que uma solução aquosa apresenta. Esta capacidade depende da presença de íons, de sua concentração total, da mobilidade e da temperatura (Greenberg et al., 1992). Ela é boa indicadora das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma das quantidades relativas dos vários componentes (Almeida, 2003).

A água contendo poucos íons, ou seja, com baixa CE, pode agravar o problema de infiltração, pela expansão e dispersão dos minerais e da matéria orgânica do solo e, ainda, pela capacidade de dissolver e remover o cálcio. Por outro lado, alta salinidade da água de irrigação aumenta a taxa de infiltração, enquanto que a baixa salinidade, ou proporção alta de sódio em relação ao cálcio e magnésio, a diminui (Maia et al., 1998).

Elevadas concentrações de eletrólitos na solução do solo são capazes de promover a compressão da dupla camada difusa. Esses efeitos são melhores visualizados em argilominerais expansíveis do tipo 2:1 (Freire, 2001).

## 2.4. Classificação dos solos afetados por sais

No Brasil o sistema utilizado para a classificação de solos afetados por sais é baseado nas características propostas por Richards (1954), de acordo com as características de Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CE) e Percentagem de Sódio Trocável (PST), conforme (Tabela 01).

**Tabela 01. Classificação de solos afetados por sais**

<i>Tipo de solo</i>	<i>C. E. (dS m<sup>-1</sup>)</i>	<i>PST (%)</i>
<i>Normal</i>	<i>&lt; 4</i>	<i>&lt; 15</i>
<i>Salino</i>	<i>&gt; 4</i>	<i>&lt; 15</i>
<i>Salino-sódico</i>	<i>&gt; 4</i>	<i>&gt; 15</i>
<i>Sódico</i>	<i>&lt; 4</i>	<i>&gt; 15</i>

Segundo Raij (1991), diversas medidas de laboratório são usadas para avaliar a salinidade e sodicidade do solo, sendo as mais importantes a CE e a PST. Para avaliar o perigo de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação, utiliza-se outro índice chamado de RAS.

Para Cavalcante (1980), um diagnóstico para ser criterioso deve conter o máximo de informações do solo e das amostras coletadas, para análises físicas (textura, infiltração, permeabilidade, condições de drenagem natural e artificial) e químicas (dados do complexo sortivo e dos obtidos no extrato de saturação como condutividade elétrica, pH, teores de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup>, RAS e PST.

Na Austrália, Rengasamy & Olsson (1991), citados por (Barros 2001), relataram a ocorrência de três tipos de solos sódicos: solos sódicos alcalinos, solos sódicos neutros e solos sódicos ácidos. Os solos sódicos alcalinos incluem solos com alta concentração de CO<sub>3</sub><sup>=</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>=</sup> 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  $\text{CO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  solúveis com predominância de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^-$  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  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  do complexo de troca.

Naidu et al. (1995) definiram que para condições australianas um solo é considerado sódico quando a PST > 6% no perfil do solo, da superfície até 1m de profundidade.

Os efeitos dos sais sobre o solo ocorrem basicamente pela interação eletroquímica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando umedecida e a contração quando a água é evaporada ou retirada pelas plantas. Se a expansão for exagerada pode ocorrer a fragmentação das partículas provocando a dispersão da argila. De modo generalizado, altera-se o volume ocupado pela argila, reduzindo o tamanho dos poros e modificando a estrutura do solo, afetando significativamente suas propriedades físicas (Lima, 1997).

Os solos com altos teores de sódio no complexo de troca apresentaram condições físicas desfavoráveis que decorrem da dispersão dos colóides e da degradação da estrutura. Estes fenômenos reduzem a permeabilidade do solo à água e ao ar. Investigando o comportamento de floculação e dispersão de vários minerais de argila e solos, Arora & Coleman (1979) observaram que a saturação do complexo de troca com íons divalentes reduz significativamente a repulsão interpartículas. Os autores constataram ainda que a maioria dos solos e minerais de argila foi dispersa a uma concentração eletrolítica de 5 a 8  $\text{mmol}_C \text{L}^{-1}$  para valores da RAS igual a 15  $\text{mmol}_C \text{L}^{-1}$ .

Em razão dos problemas dos sais, os solos podem ser classificados como salinos e salino-sódicos e sódicos. A salinidade refere-se à concentração de sais solúveis do solo e aos aspectos tóxicos e osmóticos dos nutrientes, relacionados com a nutrição mineral das plantas. A alcalinidade relaciona-se mais à ação dos sais sobre os solos, que promovem a alteração da estrutura, diminuição da infiltração de água, da condutividade hidráulica e da aeração, além de concentrar o solo em sódio trocável, carbonato e bicarbonato (Cavalcante, 2000).

Os solos contendo altas concentrações de sais solúveis e altos teores de sódio trocável são chamados de solos salino-sódicos. Para as condições do nordeste brasileiro estes solos possuem CE do extrato de saturação  $> 4 \text{ dS m}^{-1}$ , PST  $> 15\%$  e pH raramente  $> 8,5$  (Coelho & Ferreyra, 1986; Silveira et al., 2008).

Geralmente na correção desses solos o uso de corretivos químicos como o gesso associados à lixiviação tem efeitos benéficos (Gheyi et al., 1995; Holanda, 1998; Cavalcante et al., 2000; Barros et al., 2005).

## 2.5. Correção de solos afetados por sais

A correção de solos afetados por sais tem como objetivo principal a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. A diminuição do teor de sódio trocável envolve o seu deslocamento do complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação (Barros, 2001).

Por apresentar baixo custo e relativa abundância, pois é encontrado em várias partes do mundo, o gesso é o corretivo mais utilizado na correção de solos sódicos e salino-sódicos, como fonte de cálcio responsável pelo deslocamento do sódio trocável, e de íon sulfato, que neutraliza o sódio da solução, originando o sulfato de sódio decahidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) que é lixiviado (Santos e Hernandez, 1997).

Segundo Pizarro (1985), para correção de solos salinos a lixiviação de sais pode ser feita de duas maneiras:

**Lavagem contínua** - a água é adicionada a ponto de cobrir a superfície do solo com uma lâmina de 10 cm de altura pela adição frequente de água. Esse método permite que os sais sejam removidos mais rapidamente e que o cultivo seja feito mais cedo. Este tipo de lavagem é recomendado para solos de boa permeabilidade, lençol freático profundo e alta taxa de evaporação;

**Lavagem intermitente** - essa prática é mais recomendada para solos com reduzida capacidade drenagem, lençol freático elevado e água subterrânea de baixa salinidade. Deve ser aplicada nos períodos de baixa taxa de evaporação.

Ferreira (2002) cita algumas normas a serem observadas para obtenção de um maior êxito no processo de lixiviação:

- a) lixiviar os sais preferencialmente durante a estação fria, quando a evapotranspiração da cultura é mais baixa;
- b) cultivar espécies mais tolerantes à salinidade, por implicar em menor necessidade de lixiviação e conseqüentemente maior economia de água;
- c) preparar o solo de modo a diminuir o escoamento superficial e obstruir as fendas por onde poderia penetrar muita água diminuindo, assim a eficiência de lixiviação;
- d) irrigar por aspersão com intensidade de aplicação menor que a velocidade de infiltração básica. Isto resulta no escoamento não saturado, o qual é mais eficaz do que o saturado, no processo de lixiviação;
- e) preferir a prática de inundação intermitente à contínua por permitir uma lixiviação mais eficiente, isto é, consumindo menos água, embora requeira mais tempo;
- f) evitar períodos prolongados sem irrigar a área. Isto pode favorecer uma rápida salinização secundária, proveniente de um lençol freático alto, principalmente durante as estações secas e quentes;
- g) em solos com velocidade de lixiviação muito baixa, as lixiviações não devem coincidir com o ciclo fenológico da cultura;
- h) preparar adequadamente o leito para semeadura ou plantio e dispor as sementes ou mudas nas faixas onde ocorrem as menores acumulações dos sais.

O volume de água necessário e o tempo requerido para lixiviação dependem de vários fatores como, tipo de sais, qualidade da água de lixiviação, permeabilidade do solo, eficiência do sistema de drenagem, profundidade a ser lixiviada e tipo de lavagem empregada.

Trabalhando com solo salino-sódico do Norte de Minas Gerais, Moura (1989) observou que a lixiviação, com uma lâmina correspondente a duas vezes o volume de poros, usando uma solução eletrolítica de cloreto de cálcio  $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ , foi eficiente na recuperação do solo, até uma profundidade de 60 cm.

Sampaio & Ruiz (1996), trabalhando em condições idênticas, concluíram que a aplicação fracionada de uma lâmina pouco superior ao volume de poros foi suficiente para eliminar a maior parte dos sais do perfil.

Na correção de solos com excesso de sódio trocável podem ser utilizados vários corretivos como gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio, ácido sulfúrico. Entretanto o gesso é o produto mais utilizado por apresentar menor custo, fácil manuseio e facilidade de se encontrar no mercado (Barros et. al., 2005).

Em estudos para recuperação de solos afetados por sais da China, Suhayda et al., (1997) observaram melhorias na estabilidade de agregados e na taxa de infiltração de solos com problemas de sodicidade após a aplicação de gesso. No tratamento com gesso, a taxa de infiltração foi de 8 cm/min, enquanto que para o tratamento que não recebeu o corretivo a taxa de infiltração não excedeu a 1 cm/min.

Melo et al., (2008), em pesquisa com solos salino-sódicos de Custódia, utilizando níveis da necessidade de gesso determinados em função da estimativa de laboratório no deslocamento do sódio trocável do complexo de troca, observaram efeito positivo da aplicação do corretivo na capacidade de transmissão de água e na correção da sodicidade dos solos.

Este efeito também foi observado por Sampaio & Ruiz (1996) aplicando 100% da necessidade de gesso em dois solos salino-sódicos do Rio Grande do Norte. Os autores observaram uma redução na PST do solo de 57% e 51% para 14,89% e 1,84% respectivamente.

## **2.6. O gesso e seu efeito sobre as características físicas e químicas e na correção de solos salino-sódicos**

O gesso de jazidas é um minério que ocorre abundantemente em todo o mundo e cuja solubilidade é cerca de  $2,04\text{g L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ . Usualmente, ocorre como a forma dihidratada ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), embora a semi-hidratada ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) e a anidra ( $\text{CaSO}_4$ ), sejam encontrados naturalmente. No Brasil, o gesso é encontrado na Chapada do Araripe, na divisa dos estados do Ceará e Pernambuco. Os depósitos de gesso podem apresentar impurezas de carbonatos de cálcio e

magnésio, sais de sulfato, assim como óxidos de cálcio, magnésio e ferro (Shainberg et al., 1989).

A eficiência do gesso como corretivo é dependente da dissolução. Dentre os fatores que influenciam a dissolução do gesso no solo destacam-se a granulometria das partículas do corretivo químico, a textura do solo e o método de aplicação (Richards, 1954; Barros et al., 2004).

A relação entre a quantidade de gesso utilizada no processo de troca (gesso dissolvido) e a fração de sódio trocável substituído foi testada por Barros & Magalhães (1989). Estes autores demonstraram que a quantidade de gesso dissolvido pode ser descrita por uma função quadrática e que o coeficiente de determinação encontrado ( $R^2 = 0,89$ ) indica existir uma nítida relação entre o gesso dissolvido e o sódio trocável substituído.

Keren & Oconnor (1981) concluíram que para valores elevados da PST do solo, a taxa de dissolução de gesso foi aumentada, entretanto, quando a PST desta camada era baixa (depois da recuperação), somente a velocidade da água no solo, a efetiva área de superfície dos fragmentos de gesso e a composição da água de irrigação controlaram a taxa de dissolução.

Aplicando cinco toneladas por hectare de gesso agrícola na superfície de um solo sódico, Agassi et al., (1990) constataram acentuada redução no escoamento superficial da água. Os autores atribuíram este efeito ao aumento na concentração de eletrólitos, o qual favoreceu a maior infiltração de água no solo.

Barros et al., (2006) trabalhando com solos salino-sódicos do Nordeste do Brasil, relatam que a aplicação de gesso corrigiu a PST para valores menores que 15% para todos os solos estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Silveira, (2000) em estudo com solos salino-sódicos de Custódia-PE, e que corroboram os resultados obtidos por Ahamed et al. (1997), em trabalhos com solo salino-sódico em colunas de solo, e nos quais observaram que a aplicação de gesso teve influência significativa na redução da PST do solo, decorrente de uma remoção de 96% do sódio trocável do complexo de troca.

De acordo com Sampaio (1993), a variação da concentração de cálcio na solução do solo depende tanto da taxa de dissolução quanto do tempo de contato de água: gesso. Desta forma, o incremento do fluxo de água no solo, aumenta a taxa de dissolução, mas, decresce o tempo de contato. O equilíbrio dinâmico ocorre quando a velocidade de água é menor do que a taxa de liberação do sulfato e cálcio

e, ou, quando a área superficial das partículas é menor para alcançar o equilíbrio durante a lixiviação.

Melo et al., 2008 constatou que o gesso mineral incorporado a solos salino-sódicos diminuiu a sodicidade e aumentou a dinâmica da água no solo. Entretanto para a correção da RAS, os autores constataram que o gesso incorporado no nível de 100% da necessidade de gesso do solo apresentou-se eficiente na correção da sodicidade.

Estudando o efeito da aplicação de gesso em solo salino-sódico do Paquistão, Qadir et al. (1996) observaram que o gesso aplicado no nível de 100% da necessidade de gesso, favoreceu a floculação da argila dispersa, resultando em aumento na taxa de infiltração de água no solo e, portanto, facilitando a lixiviação dos sais solúveis da coluna de solo. Resultados semelhantes são relatados por Ramirez et al. (1999) e Silveira et al. (2008), trabalhando com solos salino-sódicos da Venezuela e do Brasil, respectivamente.

A remoção do sódio, após a adição de gesso reduz a dispersão das argilas, o que indiretamente, também proporciona aumento da estabilidade estrutural de agregados, da condutividade hidráulica e da lixiviação dos sais. Silveira et al. (1999), avaliando o uso do gesso incorporado a um solo salino-sódico sobre a formação e estabilidade de agregados, observaram uma tendência de formação de novos agregados mais estáveis e o aumento substancial da condutividade hidráulica dos solos.

A eficiência do gesso, na correção de solos salino-sódicos e sódicos, além da granulometria, depende também da umidade do solo. Por isso, às vezes, uma lâmina fracionada de água superior a 2,0 vezes o volume de poros é exigida para a solubilização do gesso e correção da sodicidade (Izhar et al., 2001 & Barros et al., 2005).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de coleta dos solos

Os solos utilizados neste trabalho foram coletados em lotes do Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE, que apresentavam problemas de sais e sódio trocável (Figuras 01 e 02). Nestas áreas foram coletadas 02 (duas) amostras dos solos (S1 e S2) representativas, com coordenadas geográficas de 24L 645421.910/9055937.085 e 24L 645388.148/9056136.031 (Datum Sul América 69).

A amostragem foi realizada segundo o procedimento descrito por Magalhães (1987) e adaptado por Barros (2001). A amostra representativa de cada lote (amostra composta) foi obtida pela mistura de 20 amostras simples, composta de 05 subamostras, coletadas por meio de tradagem. A profundidade de amostragem foi de 0 - 40 cm.



**Figura 01.** Vista da área de coleta da amostra composta do solo S1



**Figura 02.** Vista da área de coleta da amostra composta do solo S2

### 3.2. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no Perímetro Irrigado de Ibimirim, localizado na região semiárida do estado de Pernambuco, na mesorregião do Sertão pernambucano e microrregião Sertão do Moxotó (Figura 03). A área do município ocupa 2.033,593 km<sup>2</sup>, limitando-se ao norte com os municípios de Sertânia e Custódia, ao sul com Inajá e Manari, a leste com Tupanatinga e a oeste com Floresta. Sua sede apresenta as coordenadas geográficas 8°32'27,6" de longitude e 37°41'24" de latitude, com altitude de 401 metros acima do nível do mar, distando 331,6 km da cidade do Recife, com acesso pelas rodovias BR-232, BR-110, via Cruzeiro do Nordeste (Condepe/Fidem, 2007).

A área de estudo encontra-se nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó, sendo o principal corpo de acumulação de água o açude Eng. Francisco Sabóia, conhecido localmente como açude Poço da Cruz, com cerca de 504.000.000 m<sup>3</sup> (Embrapa, 2000).

As principais características dos solos da região são: profundos, com caráter distrófico e acidez elevada predominante, representados pelos Neossolos Quartzarênicos; pouco profundos a profundos, com presença de textura arenosa ou média, drenados, representado pelo Neossolos Regolítico; e solos minerais, imperfeitamente drenados e mal drenados com teores elevados de sódio no subsolo, representados pelos Planossolos Nátricos. Outros tipos de solos também ocorrem: Latossolos Amarelos, Luvisolos, Podzólicos Amarelos, Neossolos Flúvicos, Vertissolos e Cambissolos (Silva, 2006).

O clima dominante em toda área é do tipo semiárido quente, ou BSh segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 25°C. Os meses mais quentes são novembro, com registros máximos de temperatura entre 35 e 40°C, e as mínimas ocorrem em julho e agosto, com temperatura de aproximadamente 23°C. A precipitação média anual é de cerca de 500 mm, com período chuvoso de janeiro a abril (Temóteo, 2000).

Essas características são decorrentes da influência orográfica, ou seja, das formas de relevo da região que isolam os ventos úmidos do nordeste, e a circulação atmosférica que age sobre a região (Radambrasil, 1981).

A umidade relativa do ar apresenta comportamento diversificado relacionado à continentalidade e a topografia, e segundo dados do Laboratório de Meteorologia

de Pernambuco (Lamepe), a umidade relativa média anual gira em torno de 64 a 68% (Silva, 2006).

A vegetação predominante do município é a caatinga hiperxerófila, uma vegetação característica da região semi-árida do Sertão, com xerofitismo acentuado. De acordo com Veloso et al. (1991) é caracteriza-se pelo predomínio da savana estépica, uma tipologia marcada por espécies vegetais com alta capacidade de retenção de água durante a estação mais quente, quando perdem a folhagem, reduzindo consideravelmente o metabolismo vegetal (Temóteo, 2000).

O Perímetro Irrigado apresenta áreas ocupadas por grandes e médias propriedades. Nas atividades agrícolas, registram-se as de cultivo comercial e de subsistência. As comerciais são: cebola, banana, goiaba, mamão, melancia, maracujá e acerola; enquanto que as de subsistência são: feijão, milho, mandioca, batata doce, fava, dentre outras (CPRM, 2005).



**Figura 03.** Mapa do Sertão do Moxotó com destaque para Ibimirim-PE

### 3.3. Caracterização do solo

As amostras de solos coletadas foram conduzidas para o Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo da UFRPE, posteriormente foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 4,0 mm. Uma parte foi destorroadada e passada em peneira de 2,0 mm de malha, para caracterização física e química.

A pasta saturada foi preparada seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). No extrato da pasta saturada foram determinadas a Condutividade Elétrica (CE), o pH, o cálcio e o magnésio solúveis por espectrofotometria de absorção atômica, o sódio e o potássio por fotometria de chama, o carbonato e bicarbonato por titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,005\text{mol L}^{-1}$  e o cloreto por titulação com  $\text{AgNO}_3$   $0,025\text{mol L}^{-1}$  (Embrapa, 1997). O sulfato foi determinado por colorimetria com precipitação com cromato de bário, seguindo a metodologia de Magalhães (1987). A Relação de Absorção de Sódio (RAS) foi obtida usando a seguinte equação:

$$RAS = \frac{Na^+}{[(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{1/2}} \quad (\text{Eq. 03})$$

Utilizando ainda a metodologia de Richards (1954) foram determinados: o pH dos solos na relação solo-água (1:2,5) e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) pelo método do acetato de sódio. Os cátions trocáveis foram extraídos com uma solução de acetato de amônio  $1\text{mol L}^{-1}$  a pH 7,0. Após a extração, o sódio e o potássio foram determinados por fotometria de chama e o cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica. A Percentagem de Sódio Trocável (PST) foi calculada a partir de dados da CTC e do sódio trocável, com a equação abaixo:

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad (\text{Eq. 04})$$

Utilizando a metodologia da Embrapa (1997), foram avaliados os seguintes parâmetros: a granulometria, pelo método do densímetro, a densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico; a densidade do solo pelo método do torrão parafinado; a condutividade hidráulica saturada com amostra deformada e o grau de floculação das argilas. A composição granulométrica foi determinada após lavagem com etanol a 60% até reação negativa dos cloretos.

Os resultados das análises físicas e químicas das amostras de solos estão apresentados nas tabelas abaixo:

**Tabela 02. Características no extrato da pasta de saturação dos solos**

<i>Atributo químico</i>	<i>Unidade</i>	<i>Solo</i>	
		<b>S1</b>	<b>S2</b>
$Ca^{++}$	$mmol_c L^{-1}$	5,06	7,58
$Mg^{++}$	$mmol_c L^{-1}$	7,08	53,15
$Na^+$	$mmol_c L^{-1}$	47,40	313,01
$K^+$	$mmol_c L^{-1}$	0,77	1,28
$Cl^-$	$mmol_c L^{-1}$	54,14	337,83
$SO_4^-$	$mmol_c L^{-1}$	5,56	26,93
$CO_3^-$	$mmol_c L^{-1}$	0,00	0,00
$HCO_3^-$	$mmol_c L^{-1}$	0,97	0,52
CE	$dS m^{-1}$	6,22	35,96
RAS*	$mmol_c L^{-1}$	19,24	56,79

Legenda: CE = Condutividade Elétrica e, RAS = Relação de Adsorção de Sódio

**Tabela 03. Características químicas das amostras de solos**

<i>Atributo químico</i>	<i>Unidade</i>	<i>Solo</i>	
		<b>S1</b>	<b>S2</b>
$Ca^{++}$	$cmol_c dm^{-3}$	5,32	3,37
$Mg^{++}$	$cmol_c dm^{-3}$	3,50	2,25
$Na^+$	$cmol_c dm^{-3}$	3,40	9,32
$K^+$	$cmol_c dm^{-3}$	0,67	0,60
NG	$cmol_c dm^{-3}$	4,20	10,64
CTC	$cmol_c dm^{-3}$	12,89	15,54
PST	%	26,37	59,97
pH	-	7,76	7,06
Classificação	-	Salino-sódico	Salino-sódico

Legenda:  $Na^+$  = Sódio Trocável, NG = Necessidade de Gesso, PST= Percentagem de Sódio Trocável, pH =  $H_2O$  Relação 1:2,5

**Tabela 04. Características físicas das amostras de solos**

<i>Atributo físico</i>	<i>Unidade</i>	<i>Solo</i>	
		<i>S1</i>	<i>S2</i>
<i>Areia</i>	%	45,20	9,45
<i>Silte</i>	%	28,07	44,11
<i>Argila</i>	%	26,73	46,44
<i>Ko</i>	<i>cm h<sup>-1</sup></i>	0,12	0,00
<i>Dp</i>	<i>g cm<sup>-3</sup></i>	2,43	2,65
<i>Ds</i>	<i>g cm<sup>-3</sup></i>	1,50	1,58
<i>GF</i>	%	27,20	19,14
<i>PT</i>	<i>m m<sup>-3</sup></i>	0,38	0,41
<i>Classe textural</i>	-	<i>Franco-Argiloso</i>	<i>Argila-Siltosa</i>

Legenda: Ko = Condutividade Hidráulica Saturada, Dp = Densidade das partículas, Ds = Densidade do solo, GF= Grau de Flocculação, PT= Porosidade Total

### 3.3.1. Determinação da necessidade de gesso (NG)

Para a determinação da NG, foi usada uma modificação do Método de Laboratório de Schoonover (1952), Schoonover M-1, desenvolvida por Barros & Magalhães (1989) para solos salino-sódicos de Pernambuco, que são descritos abaixo:

- **Método de Shoonover Modificado (Shoonover M-1)**

#### a) Metodologia:

Para cada amostra de solo determinou-se a necessidade de gesso de acordo com o procedimento de Shoonover (1952). Paralelamente colocaram-se 5g de cada amostra de solo em Erlenmeyer de 125 ml; adicionando-se 100 ml de água deionizada, agitando-se durante cinco minutos em agitador mecânico e filtrando em papel de **WHATMAN N° 42**. No filtrado determinou-se a concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , sendo este valor subtraído da concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , determinado pelo método Shoonover.

#### b) Equação:

$$NG = (\text{cmol}/\text{dm}^3) = [\text{Conc. de Ca+ solução de gesso (Shoonover)} - A] \times 2 \quad (\text{Eq.05})$$

Em que:

$$A = [\text{Conc. de Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} \text{ no filtrado (Shoonover)} - \text{Conc. de Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} \text{ no filtrado (H}_2\text{O)}] \quad (\text{Eq. 06})$$

### 3.4. Ensaio em colunas de PVC

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental inteiramente casualizado com esquema fatorial 2 X 7 X 3 (dois solos, sete níveis da necessidade de gesso, com três repetições), totalizando 42 unidades experimentais.

### **3.5. Descrição dos Níveis da Necessidade de Gesso**

O gesso foi aplicado às amostras de solos S1 e S2, em função dos seguintes níveis da Necessidade de Gesso (NG):

- a) nível - 50% da NG;*
- b) nível - 75% da NG;*
- c) nível - 100% da NG;*
- d) nível - 125 % da NG;*
- e) nível -150% da NG;*
- f) nível - 175% da NG;*
- h) nível - 200% da NG.*

### **3.6. Método de aplicação do corretivo**

Os níveis de gesso foram incorporados uniformemente em cada coluna de solo. O corretivo empregado foi um produto comercial (calmina), extraído da jazida localizada em Araripina-PE. Para o presente estudo foi utilizado gesso mineral com granulometria < 0,3 mm.

### **3.7. Local do experimento e as unidades de experimentais**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo da UFRPE.

As unidades experimentais foram constituídas de tubos em PVC com 10,0 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Para conter as amostras de solos na base dos tubos de PVC, foram colocadas telas de náilon de 0,001mm de malha. Os recipientes foram fechados na parte inferior com tampas que foram perfuradas no centro. Neste furo foi instalada uma torneira de 3/8 polegadas e uma mangueira de 8,0 cm de comprimento para facilitar a coleta da solução drenada.

### 3.8. Acondicionamento dos solos

As amostras de solos S1 e S2 resultantes da passagem em malha de 4,0 mm com os níveis de gesso foram acondicionados nas colunas a uma altura de 25 cm, de modo a aproximar o valor da densidade do solo de cada amostra coletada no Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE.

### 3.9. Condução do experimento

Inicialmente foi adicionada água lentamente de cima para baixo nas colunas de solos, até atingirem a “Capacidade de Pote”, que é definida como sendo a quantidade máxima de água retida pelo solo dentro do recipiente, quando a drenagem se torna insignificante (Rodrigues, 1986, citado por Nogueira, 1987).

As colunas de solo com esta umidade foram mantidas por um período de incubação de aproximadamente 24h, para estabelecer o equilíbrio químico entre a fração sólida e líquida. A fim de se evitar as perdas por evaporação, os tubos em PVC foram vedados com filme plástico. Após o período de incubação, as colunas de solo foram lixiviadas com água deionizada, mantendo-se uma lâmina constante de 2,0 cm. Com o objetivo de avaliar o efeito das frações de lixiviação foram utilizadas lâminas de água equivalentes a uma vez meia e de três vezes o volume de poros. Na (Figura 04) apresentam-se as unidades experimentais utilizadas na correção dos solos afetados por sais.



**Figura 04.** Unidades experimentais utilizadas no estudo da correção da salinidade e sodicidade das amostras de solos coletadas no Perímetro Irrigado de Ibimirim-PE

A cada volume de 100 ml drenados foi marcado o tempo para calcular a condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ) das amostras de solos com os tratamentos.

Para se determinar a  $K_o$  nas colunas de solos foi utilizada a expressão obtida pela equação de Darcy:

$$K_o = \frac{(Q \times L)}{(A \times T \times H)} \quad (\text{Eq. 07})$$

Em que:

$K_o$  = Condutividade hidráulica saturada ( $\text{cm h}^{-1}$ )

$Q$  = Volume de água (ml)

$L$  = Altura da coluna de solo (cm)

$A$  = Área da coluna ( $\text{cm}^2$ )

$T$  = Tempo (horas)

$H$  = Carga hidráulica (cm)

Os dois primeiros 550 ml coletados foram misturados para obter um volume total de 1.100 ml, correspondente a uma lâmina equivalente a 1,50 vezes o volume de poros (1,50VP), sendo denominada de primeira lâmina de lixiviação (L1). A segunda lâmina de lixiviação (L2) equivalente a (3,00VP) foi obtida misturando-se os últimos 550 ml drenados. Na solução drenada (Figura 05) foi determinada a Condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ), Condutividade Elétrica (CE) e o sódio ( $\text{Na}^+$ ).



**Figura 05.** Vista da coleta da solução drenada para determinação da condutividade hidráulica saturada, condutividade elétrica e sódio

Depois da lixiviação, as colunas em PVC foram desmontadas e os solos foram secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm de malha, determinando-se em seguida, a condutividade elétrica, os cátions solúveis e a relação de adsorção de sódio no extrato da pasta de saturação; sódio trocável, a percentagem de sódio trocável, pH e o grau de floculação após a aplicação dos tratamentos. Detalhe do preparo da pasta de saturação e análise do grau de floculação (Figura 06).



**Figura 06.** Preparo da pasta de saturação das amostras de solos e análise do grau de floculação após aplicação dos níveis da necessidade de gesso

### **3.10. Análises estatísticas**

Utilizou-se, nas análises estatísticas, o programa **ASSISTAT versão 7.5 BETA**, e os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão, testando-se diversos modelos. O critério para escolha do modelo foi o maior valor do coeficiente de determinação ajustado, bem como a significância dos coeficientes da equação de regressão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Condutividade Elétrica (CE) e Sódio (Na<sup>+</sup>) na solução drenada

Os valores iniciais elevados da CE (Tabela 05) para primeira lâmina de lixiviação (L1) devem-se ao aumento da concentração de sais na solução drenada, possivelmente por causa da aplicação de quantidades crescentes de corretivo associado aos valores originalmente elevados da CE no extrato da pasta de saturação das amostras de solos (Tabela 02). O processo de difusão iônica foi mais acentuado para L1, pois as amostras de solos apresentavam valores inicialmente mais elevados para a CE, o que contribuiu para a maior transferência de íons para a solução lixiviada. Estes dados estão semelhantes com os obtidos por De Jong (1982). Em estudo em laboratório esse autor constatou que o primeiro lixiviado coletado das colunas de solos que receberam gesso incorporado foram extremamente salinos ( $CE > 80 \text{ dS cm}^{-1}$ ).

Os dados obtidos na (Tabela 05) para a CE da segunda lâmina de lixiviação (L2), apontam que ocorreu efeito dos níveis de gesso e das amostras de solos sobre a variável em estudo. A concentração de sais medida indiretamente pela CE apresentou valores mais baixos em relação aos apresentados em L1, provavelmente devido à diminuição do efeito da difusão iônica associada à maior fração de lixiviação aplicada as amostras de solos. Este efeito foi semelhante ao encontrado por Silveira et al., 2008, trabalhando com a aplicação de gesso dissolvido em água para correção de solos sódicos e salino-sódicos de Pernambuco, observou também que os primeiros lixiviados coletados das colunas de solo apresentavam os maiores valores de CE, decrescendo sucessivamente até se igualar a CE da água usada na irrigação.

O aumento da quantidade de gesso aplicada refletiu numa maior remoção do sódio da forma trocável para solúvel. O efeito do gesso na remoção dos sais solúveis medido pelo Na<sup>+</sup> (Tabela 05) está similar aos relatos de Richards (1954), que cita que solos salino-sódicos quando submetidos à lixiviação com água de irrigação têm os problemas de sodicidade agravados. Para o autor, a lavagem com água de irrigação lixivia os sais solúveis, que se reflete, cada vez mais, na perda da qualidade física do solo, como infiltração e drenagem.

**Tabela 05. Resultados da média da condutividade elétrica e sódio solúvel na solução drenada das amostras de solos**

SOLO	NNG (%)						
	50	75	100	125	150	175	200
<b>CE L1 (dS m<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	7,24	9,13	10,66	11,11	11,70	11,65	12,11
<b>S2</b>	34,91	37,38	39,36	40,24	40,77	40,82	40,91
<b>CE L2 (dS m<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	1,89	2,10	2,25	2,38	2,70	2,81	2,83
<b>S2</b>	4,02	4,22	4,36	4,71	4,83	4,99	5,51
<b>Na<sup>+</sup> L1 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	32,68	41,35	55,79	57,41	60,38	64,09	67,82
<b>S2</b>	122,62	139,89	146,31	153,14	156,72	155,87	160,51
<b>Na<sup>+</sup> L2 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	13,18	15,71	18,39	19,35	22,55	25,36	28,15
<b>S2</b>	35,01	38,30	39,22	41,11	43,50	45,88	47,10

Legenda: S1 = Solo Franco-argiloso, S2 = Solo Argilo-Siltoso; NNG = Níveis da Necessidade de Gesso; CE L1 = Condutividade Elétrica da Primeira Lâmina de Lixiviação de 1,5 vezes o volume de poros; CE L2 = Condutividade Elétrica da Segunda Lâmina de Lixiviação de 3,0 vezes o volume de poros; Na L1 = Sódio Solúvel da Primeira Lâmina de Lixiviação de 1,5 vezes o volume de poros; Na L2 = Sódio Solúvel da Segunda Lâmina de Lixiviação de 3,0 vezes o volume de poros.

No presente trabalho, os Níveis da Necessidade de Gesso (NNG) de 50 a 100% em L1 causaram diminuição em maior proporção da quantidade de Na<sup>+</sup> (Tabela 02), enquanto que os demais níveis causaram redução do Na<sup>+</sup> em menor magnitude, mesmo com o incremento das quantidades de gesso fornecidas. Os valores do Na<sup>+</sup> para os primeiros níveis de gesso foram mais elevados em L1, pois os valores inicialmente elevados da CE da pasta de saturação dos solos causaram maior solubilização do gesso o que contribuiu para a maior disponibilidade de cálcio solúvel em solução para participar das reações de substituição do sódio do complexo sortivo, transferindo o sódio dos macro e microporos do solo para a

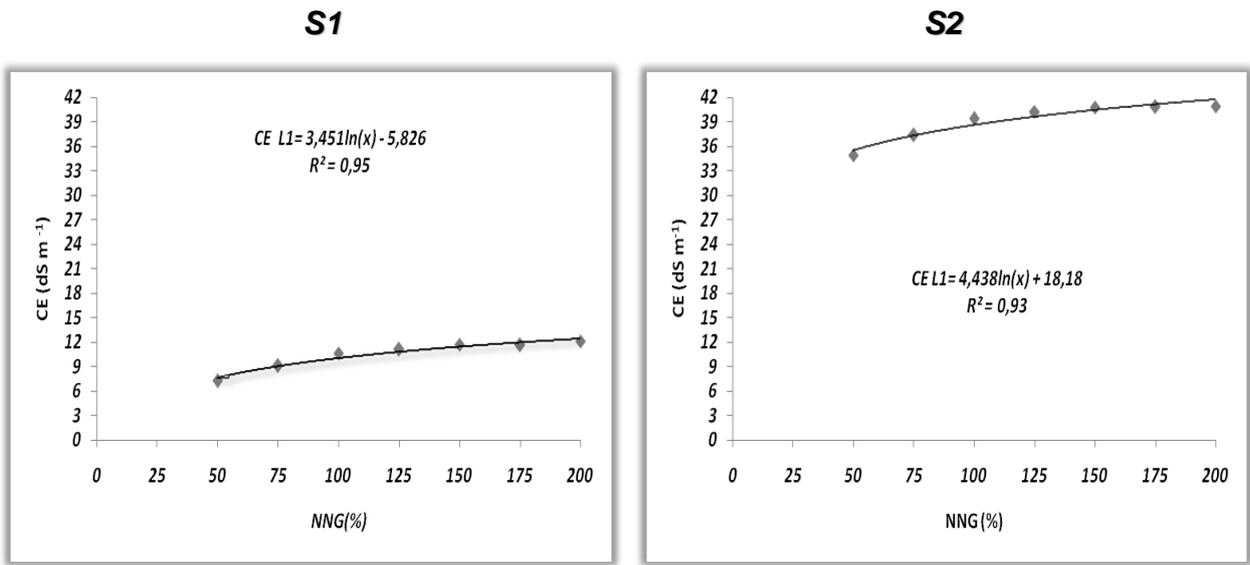
solução drenada. Este comportamento está de acordo com Richards, 1954, o qual relata que o gesso, mesmo sendo um sal neutro de baixa solubilidade, da ordem de  $2,04 \text{ g L}^{-1}$ , na presença de sódio tem sua solubilidade aumentada. Nesse sentido, pelo menos dois aspectos devem ser considerados: a) com a solubilização do gesso, o teor de cálcio solúvel aos poucos vai aumentando na solução; b) além de participar como constituinte do complexo salino o cálcio reage com o sódio dos pontos de troca dos solos e o desloca da forma trocável para a solução do solo.

Segundo Ferreira (1997), a solubilidade do gesso é de  $2,04 \text{ g L}^{-1}$  na ausência do NaCl. Entretanto esta solubilidade eleva-se para  $7,09 \text{ g L}^{-1}$  com a adição de  $358 \text{ g L}^{-1}$  deste sal. Portanto, pode-se concluir que os valores iniciais da CE ( $6,22$  e  $35,96 \text{ dS m}^{-1}$ ) contribuíram para uma maior diluição do gesso adicionado.

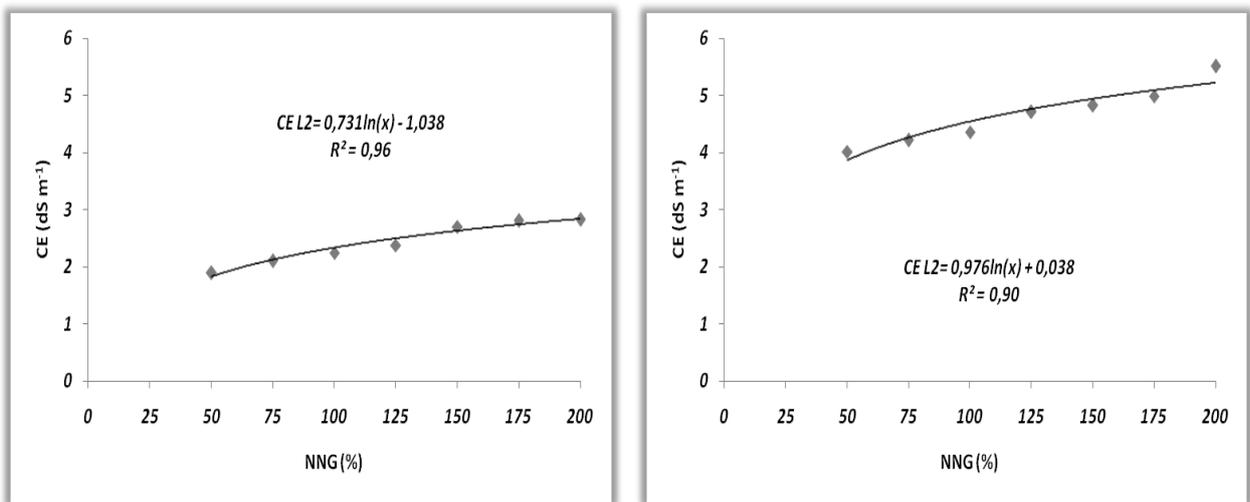
Os valores de  $\text{Na}^+$  em L2 (Tabela 05) indicam que houve influência das amostras de solos e dos NNG sobre a variável avaliada. As concentrações finais de  $\text{Na}^+$  no lixiviado em L2 foram menores em relação aos valores apresentados em L1, este processo ocorreu possivelmente por causa da maior remoção dos sais, em consequência do aumento da lâmina de lixiviação fornecida. Os dados encontrados neste trabalho estão coerentes com os estudos de Amaral et al. (2007) e Carvalho et al. (2007) que relatam que em condição irrigada ocorre a tendência de valores baixos da CE, devido à lixiviação de sais, notadamente do NaCl pelo aumento da lâmina de lixiviação.

Existe uma alta relação entre os NNG e a CE para as lâminas de lixiviação L1 e L2, estas interações foram testadas e os valores foram apresentados na (Figura 07). Observa-se que ocorreu ajuste entre as variáveis estudadas, o que pode ser representado pelos altos coeficientes de determinação variando de  $0,90$  a  $0,96$ . Os valores significativos para as variáveis avaliadas se ajustaram à equação logarítmica. Portanto os modelos explicam a interferência da aplicação de quantidades crescentes do corretivo e das lâminas de lixiviação nos resultados da CE da solução drenada. Significantes relações também foram obtidas por (Melo et al., 2008), no qual relatam elevados coeficiente de determinação, para descrever o processo de lixiviação dos sais solúveis em solos afetados por sais no Perímetro Irrigado de Custódia.

### Primeira Lâmina de lixiviação



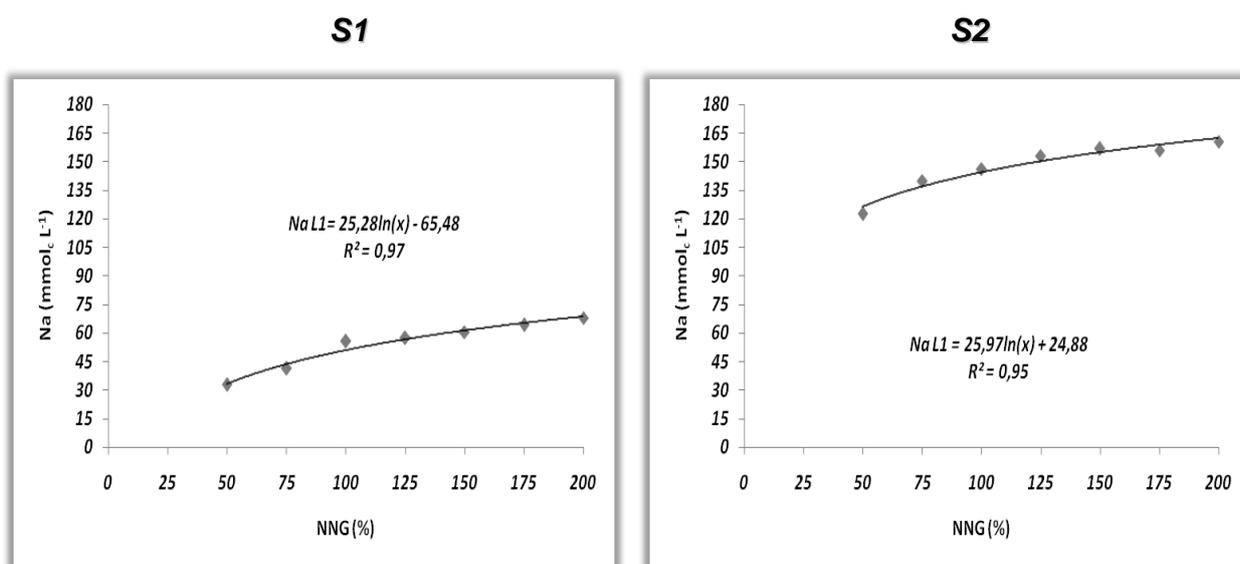
### Segunda Lâmina de lixiviação



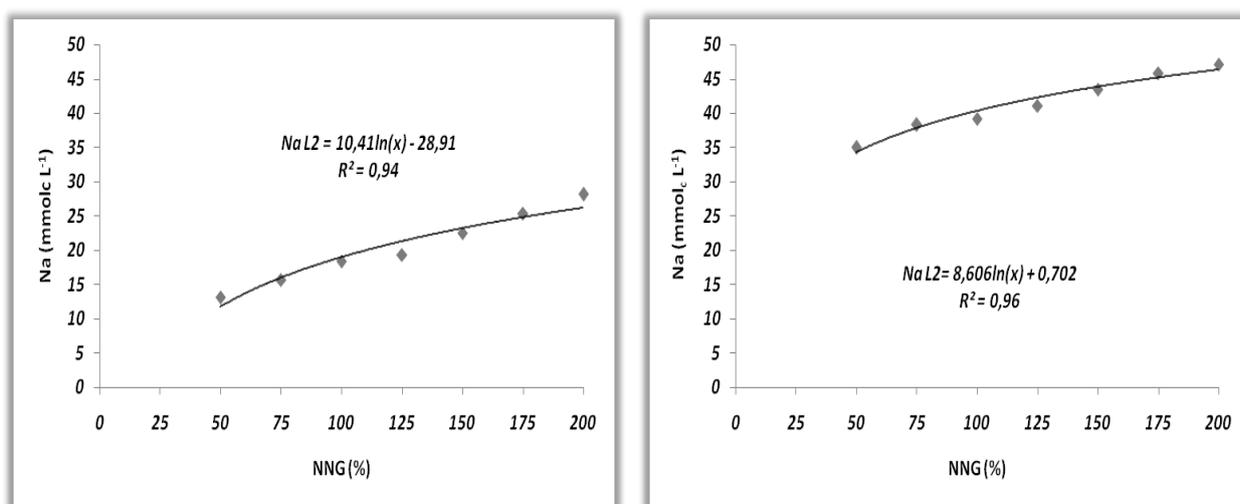
**Figura 07.** Condutividade elétrica da solução drenada em função dos níveis da necessidade de gesso.

As relações entre os NNG e o Na<sup>+</sup> foram estudadas e apresentadas na (Figura 08). No presente trabalho constatou-se que o aumento da quantidade de sódio na solução drenada ocorreu em função do incremento do gesso fornecido, confirmando a eficiência do corretivo na correção da sodicidade, a variável dependente em estudo apresentou valores significativos que se ajustaram ao modelo logarítmico.

### Primeira Lâmina de lixiviação



### Segunda Lâmina de lixiviação



**Figura 08.** Sódio solúvel da solução drenada em função dos níveis da necessidade de gesso

## 4.2. Condutividade hidráulica saturada (Ko) e Grau de Floclulação (GF)

Os valores da condutividade hidráulica (Ko) e do grau de floclulação (GF) estão apresentados na (Tabela 06). Os dados originais para Ko apresentavam-se iguais ou próximos de zero (Tabela 04), mesmo com os valores de CE no extrato da pasta de saturação dos solos iguais a 6,22 e 35,96 dS m<sup>-1</sup> (Tabela 02). Os Níveis da Necessidade de Gesso (NNG) aplicados em ambas as amostras de solos causaram comportamentos diferentes em relação às variáveis físicas avaliadas. Para o solo franco-argiloso, os NNG provocaram incremento tanto no GF como na Ko, entretanto, os níveis de 50 a 125% da NG foram responsáveis pelo maior aumento no movimento da água em fluxo saturado (Tabela 06), ao passo que, os demais níveis provocaram incremento em menor escala das variáveis físicas em estudo.

Os valores da Ko dos solos estudados possivelmente foram modificados em conseqüência da substituição do sódio trocável do complexo sortivo pelo cálcio proveniente do gesso, o que gerou diminuição da dupla camada difusa e conseqüentemente aumento do grau de floclulação das argilas causando aumento da macroporosidade e permeabilidade da água no solo.

Outros pesquisadores (Sampaio, 1993; Chaves & Rolim, 1997; Silveira et al.; 1999; Fonseca, 2000) confirmaram que a condutividade hidráulica do solo é altamente afetada pela concentração de sais e pela composição da solução expressa pela taxa de Na<sup>+</sup> e Ca<sup>+</sup> solúveis. À medida que o sódio do complexo de troca é substituído pelo cálcio, há uma diminuição da dupla camada difusa e, conseqüentemente, uma redução do grau de dispersão da argila, isto causa aumento da condutividade hidráulica do solo. Os dados presentes no trabalho são semelhantes ao de Barros et al (2006) que também constataram a eficiência do gesso na melhoria da permeabilidade da água em solos salino-sódicos. Possivelmente os aumentos da transmissividade de água nas camadas de solos após a aplicação do gesso são devido ao aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade no espaço poroso do solo.

Os resultados da (Tabela 06) indicam que a formação de agregados tem relação direta com a dupla camada difusa, pois os NNG incorporados nas colunas de solos mostraram-se eficientes no aumento do grau de floclulação em virtude da reação de substituição do sódio pelo cálcio advindo do corretivo, o que favoreceu

**Tabela 06. Resultados da média da condutividade hidráulica saturada e grau de floculação das amostras de solos**

<b>SOLO</b>	<b>NNG (%)</b>						
	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	<b>175</b>	<b>200</b>
	<b>Ko (cm h<sup>-1</sup>)</b>						
<b>S1</b>	0,28	0,40	0,57	0,63	0,75	0,76	0,82
<b>S2</b>	0,017	0,019	0,025	0,020	0,024	0,026	0,036
	<b>GF (%)</b>						
<b>S1</b>	37,81	57,61	69,77	78,33	78,98	89,33	90,02
<b>S2</b>	20,38	28,15	25,20	30,25	29,25	26,25	28,82

Legenda: S1= Solo Franco-Argiloso, S2= Solo Argilo-Siltoso, NNG = Níveis da Necessidade de Gesso, Ko = Condutividade Hidráulica Saturada e GF= Grau de Floculação

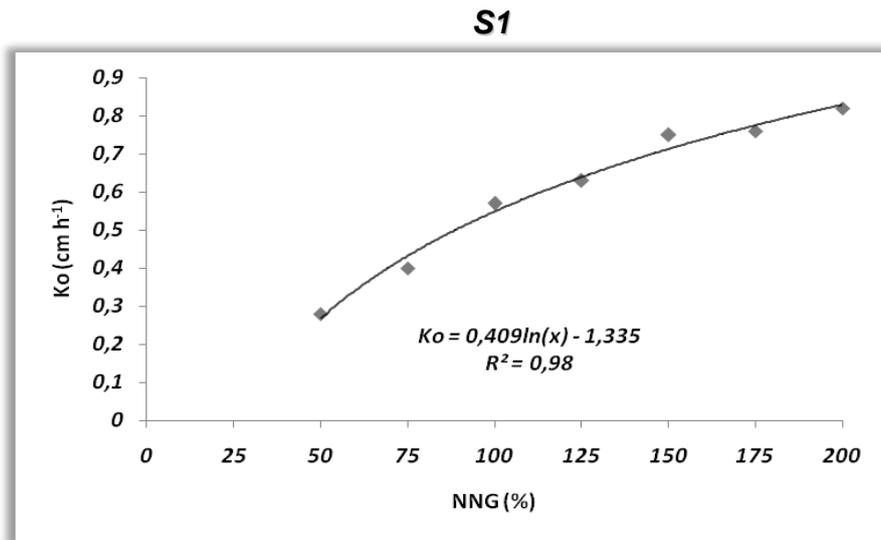
uma maior estabilidade de agregados e conseqüentemente maior movimentação da água no solo.

Bresler et al. (1982); Yague (1994); Sumner (1995) verificaram que a dupla camada difusa tem relação direta com a dispersão dos colóides do solo, o que altera a geometria dos poros do solo, afetando a infiltração da água.

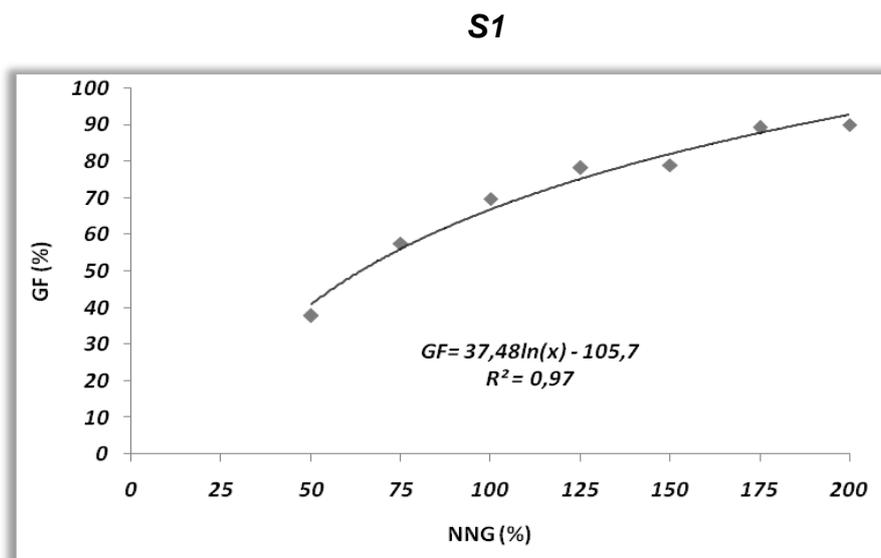
Ghiberto et al. (2007), também relatam que a redução dos valores de Ko está associada ao dessarajo e alteração dos agregados do solo, resultando num colapso dos macroporos, redução no tamanho dos poros, aumento da tortuosidade, causando diminuição da permeabilidade da água no solo.

Houve alterações nos valores da Ko para o solo argilo-siltoso (Tabela 06), entretanto, os NNG fornecidos foram apenas capazes de elevar a Ko para valores um pouco acima de zero. No presente estudo também foi constatado que a Percentagem de Sódio Trocável (PST) interferiu negativamente no aumento dos valores de Ko e do GF. O solo argilo-siltoso por apresentar maior PST em relação ao solo franco-argiloso (Tabela 04) apresentou menor capacidade de formar agregados, pois a presença marcante de sódio trocável no complexo sortivo provocou dessarajo dos agregados do solo, causando redução da macroporosidade e, em consequência da Ko.

As relações entre os NNG, a Ko e o GF foram testados e os valores apresentados nas (Figuras 09 e 10). Os coeficientes de determinação das variáveis em estudo oscilaram entre 0,97 e 0,98. As equações apresentadas se ajustaram ao modelo logarítmico e indicam que o gesso aplicado causou aumento nos valores das variáveis físicas estudadas, entretanto para o solo argilo-siltoso não houve incremento significativo da Ko e do GF, independente dos níveis de gesso aplicados.



**Figura 09.** Conduividade hidráulica das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso



**Figura 10.** Grau de floculação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

### **4.3 Cátions solúveis, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CE) no Extrato da Pasta de Saturação do Solo**

Os valores de cálcio apresentados na (Tabela 07) indicam que a variável avaliada foi influenciada pelos níveis de gesso. As quantidades de cálcio nas condições originais apresentavam-se relativamente baixos, entretanto, com a aplicação do gesso, houve aumento da concentração de cálcio solúvel no extrato da pasta de saturação, mesmo após a aplicação da lâmina de lixiviação equivalente a três vezes o volume de poros (3,00VP), em virtude do fornecimento do cálcio oriundo do corretivo o que contribuiu para o processo de substituição do sódio da forma trocável para a solúvel, causando a remoção do íon monovalente pela água de drenagem. Este comportamento está similar ao reportado no trabalho de Barros et al. (2004) o que relata incrementos na concentração de cálcio em solos salino-sódicos sob aplicação do gesso, para diminuição dos problemas de sodicidade.

Os dados encontrados para sódio solúvel indicam que a variável em estudo foi interferida pelas quantidades crescentes de gesso. Os níveis de 50 a 100% da NG apresentaram-se mais eficientes na remoção do sódio solúvel, (Tabela 07), em função da maior solubilização do corretivo aplicado. Nos demais níveis fornecidos houve uma redução em menor escala da quantidade de sódio solúvel, independente da quantidade de gesso aplicada. Essa tendência foi basicamente à mesma em trabalhos realizados por outros autores em relação à transferência do sódio da forma trocável para solúvel. (Gobran et al., 1982; Silveira et al 2008).

Os valores obtidos para CE depois da aplicação do corretivo e da lâmina de lixiviação de (3,00VP) foram menores que  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabela 07), devido o efeito da redução da dupla camada difusa após aplicação do gesso, o que proporcionou o aumento da macroporosidade e condutividade hidráulica saturada e, em consequência da lavagem dos sais solúveis reduzindo o caráter salino das amostras de solos. Os resultados do presente trabalho corroboram aos de Silveira et. al. (1999), que relatam que a eficiência do gesso no aumento da condutividade hidráulica e lavagem dos sais.

**Tabela 07. Resultados da média dos cátions solúveis, relação de adsorção de sódio e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação das amostras de solos**

SOLO	NNG (%)						
	50	75	100	125	150	175	200
<b><math>K^+</math> (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
<b>S2</b>	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06
<b><math>Mg^{++}</math> (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	0,46	0,44	0,45	0,44	0,44	0,51	0,47
<b>S2</b>	0,79	0,85	0,78	0,78	0,82	0,81	0,82
<b><math>Ca^{++}</math> (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	1,36	3,14	6,42	9,19	10,44	11,14	12,32
<b>S2</b>	2,86	5,32	9,25	11,64	15,19	16,67	18,61
<b><math>Na^+</math> (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	13,05	11,60	7,39	5,36	4,06	3,18	2,17
<b>S2</b>	31,31	27,10	21,60	18,26	15,51	13,48	12,61
<b>RAS (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	13,73	8,69	3,99	2,45	1,74	1,32	0,86
<b>S2</b>	23,20	15,44	9,65	7,33	5,48	4,55	4,03
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>							
<b>S1</b>	1,45	1,62	1,68	1,70	1,81	1,90	2,10
<b>S2</b>	3,09	3,35	3,48	3,57	3,59	3,70	3,93

Legenda: S1= Solo Franco-Argiloso, S2 = Solo Argilo-Siltoso, NNG: Níveis da Necessidade de Gesso, k = Potássio, Mg= Magnésio, Na<sup>+</sup>= Sódio Solúvel, RAS = Relação de Adsorção de Sódio, CE= Condutividade Elétrica.

Os valores apresentados na (Tabela 07) para Relação de Adsorção de Sódio (RAS) indicam que houve efeito para a variável estudada em função dos níveis de gesso fornecidos. Os níveis de 50, 75 e 100% provocaram diminuição mais acentuada da RAS (Tabela 07), em virtude da maior solubilidade inicial do corretivo aplicado, já os níveis de 125 a 200% mostraram-se menos eficientes, causando redução em menor escala da sodicidade.

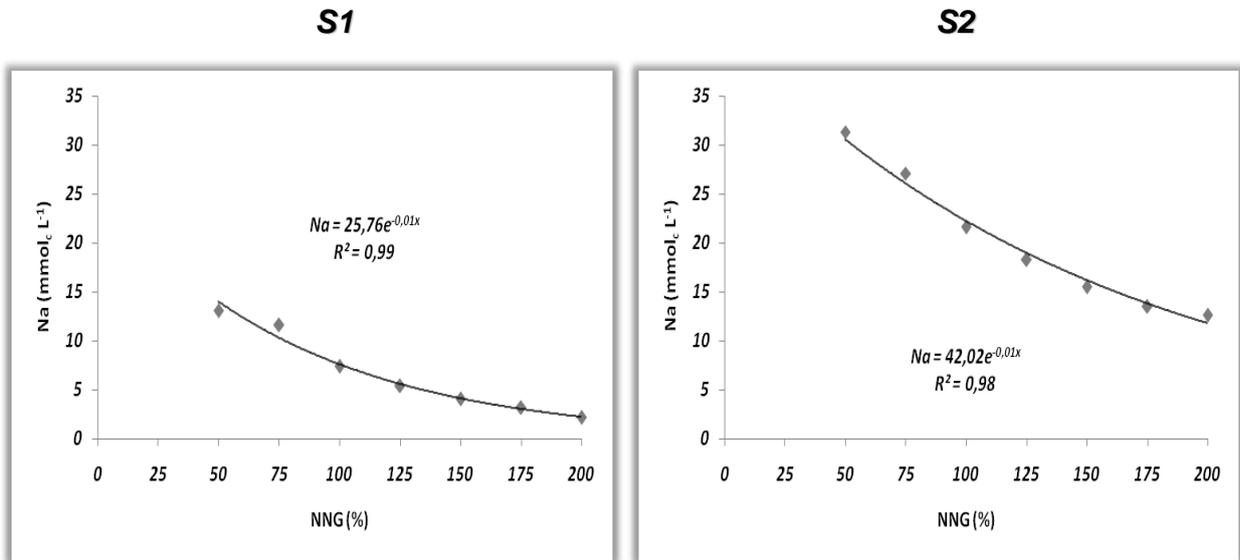
A aplicação de níveis acima de 75% causou redução da RAS para valores < 13 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. As modificações nas características químicas após incorporação de quantidades crescentes do corretivo comprovam a sua eficiência na substituição do sódio trocável do solo pelo cálcio advindo do gesso, o que reduziu a sodicidade dos solos. Este comportamento também foi observado por Moraes et al. (1997), que relatam que o gesso mineral incorporado na superfície diminui a sodicidade e aumenta a macroporosidade e dinâmica da água no solo.

A correção da sodicidade do solo franco-argiloso ocorreu a partir da aplicação do nível de 75%, possivelmente por apresentar originalmente valor de RAS mais baixo em relação ao solo argilo-siltoso. Moraes et al. (1997) em estudo com solo salino-sódico também constatou correção da sodicidade no nível de 75% da necessidade de gesso. O efeito do gesso na redução da RAS também foi constatado por Barros et al. (2004), aplicando o nível de 100% da necessidade de gesso em quatro solos salino sódicos de Pernambuco.

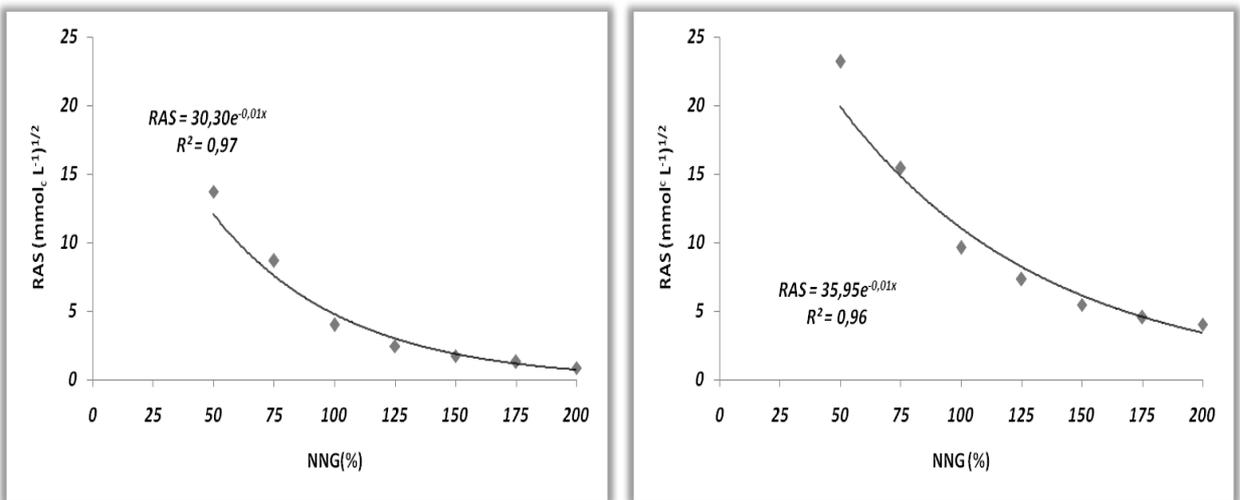
Os resultados obtidos na pesquisa também foram compatíveis com o trabalho realizado por Barros et al (2005), o que verificaram que a incorporação do gesso em solo salino-sódico, quando comparada com a aplicação em superfície, tem maior eficiência na correção da sodicidade e que tal superioridade é consequência da maior solubilização do gesso incorporado e, portanto, do aumento na eficiência da substituição do sódio trocável. Em estudo com solos salino-sódicos de Custódia, utilizando NNG, determinada pela metodologia descrita por Barros e Magalhães (1989), Melo et al. (2008) observaram que a incorporação do gesso no nível equivalente a 100%, mostrou-se eficiente na correção da sodicidade.

As concentrações de potássio e magnésio foram muito baixas, o que já era esperado, em consequência da elevada lixiviação do potássio pela água de drenagem, devido a sua fraca ligação química com os colóides do solo e do magnésio, em virtude do elemento não entrar na composição química do gesso e também devido o efeito da lavagem dos sais pela lâmina de lixiviação.

As relações entre os NNG, o sódio solúvel, RAS foram testados e os valores apresentados nas (Figuras 11 e 12). As variáveis em estudo apresentaram coeficientes de determinação variando entre 0,96 e 0,99 que foram ajustados ao modelo exponencial.

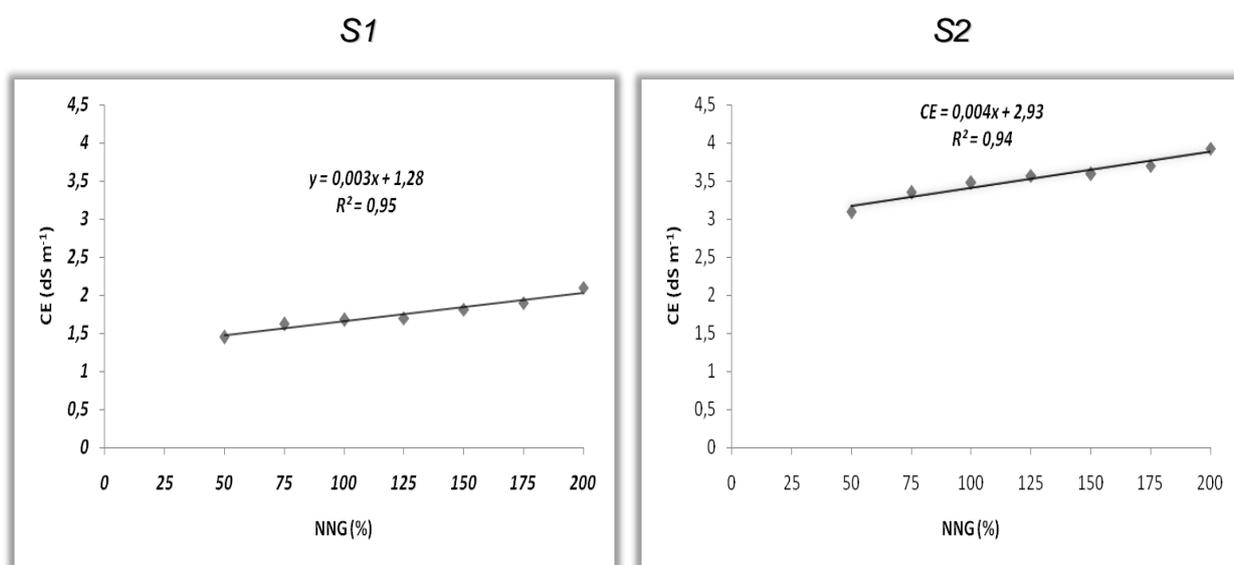


**Figura 11.** Sódio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

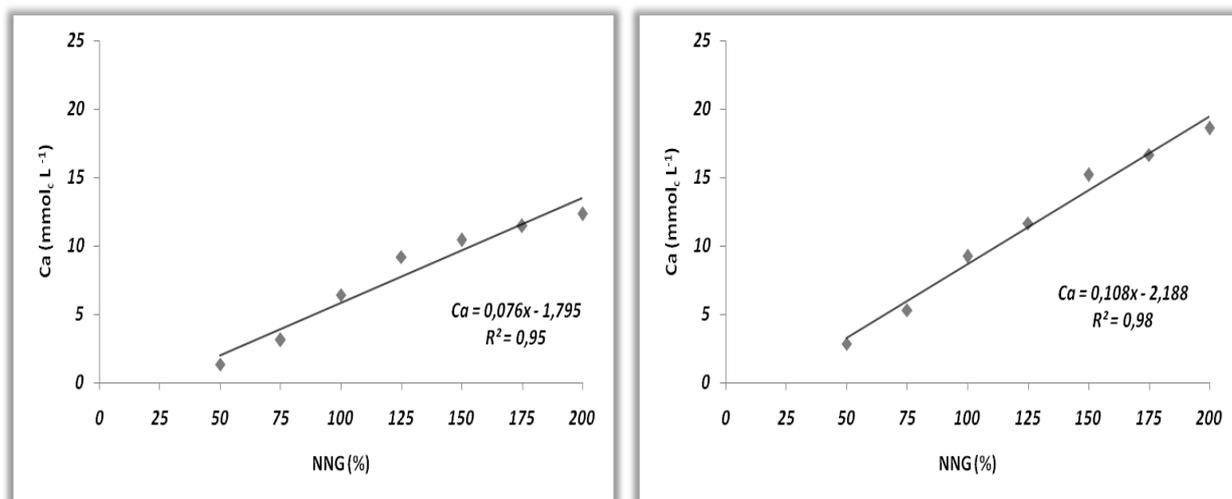


**Figura 12.** Relação de adsorção de sódio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

As relações entre os NNG, a CE e  $\text{Ca}^{++}$ , foram testadas nas (Figuras 13 e 14). Nas amostras de solos estudadas observaram-se correlações entre as variáveis, fato explicado pelo aumento da quantidade de corretivo fornecido, o que causou incremento do cátion  $\text{Ca}^{++}$  e da CE. Os valores significativos para condutividade elétrica e cálcio se ajustaram ao modelo linear.



**Figura 13.** Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso



**Figura 14.** Cálcio no extrato da pasta de saturação das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

#### 4.4. Sódio Trocável (Na<sup>+</sup>), Percentagem de Sódio Trocável (PST) e pH

As concentrações de sódio trocável (Na<sup>+</sup>) encontrados na (Tabela 08) comprovam que houve interferência na variável em estudo após aplicação do gesso. Os valores iniciais de Na<sup>+</sup> foram reduzidos de 3,4 e 9,32 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para valores bem próximos ou até mesmo menores que 1cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para as maiores quantidades do corretivo fornecido.

Valores baixos para o Na<sup>+</sup> depois da aplicação do gesso e lixiviação de sais no solo também foram relatados por Sampaio (1993), Liang et al. (1995) e Ahamad et al. (1997).

Segundo informações de Richards, (1954), solos com valores de sódio trocável < 1cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> não oferecem riscos de salinidade e de sodicidade.

A redução na quantidade do Na<sup>+</sup> trocável (Tabela 08), comprova a eficiência do Método Shoonover M-1 na determinação da quantidade de gesso usada no deslocamento do Na<sup>+</sup> do complexo sortivo das amostras de solos. Os resultados apresentados no trabalho foram compatíveis com os estudos de Barros et al. (2004), os que relatam que a quantidade de gesso necessária para reduzir a PST dos solos salino-sódicos pode ser determinada por um teste de laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso.

Os valores de PST apresentados (Tabela 08) demonstram que a variável avaliada foi influenciada pelos Níveis da Necessidade de Gesso (NNG). Os solos estudados apresentaram diminuição da PST, em função dos NNG incorporados ao longo das camadas de 25 cm de profundidade. Os dados fornecidos para PST indicam que o solo franco-argiloso apresentou correção da sodicidade a partir do nível de 75%, ao passo que o solo argilo-siltoso foi corrigido a partir do nível de 100%. A correção do solo argilo-siltoso ocorreu num nível da NG mais elevado em relação ao solo franco-argiloso por apresentar inicialmente valor mais alto para a PST. Este comportamento também foi constatado por Ahamad et al. (1997), em trabalhos com solos salino sódicos em colunas de solo. Os autores observaram que a aplicação de gesso teve influência significativa na redução da PST do solo, decorrente da substituição de 96% do sódio no complexo de troca.

**Tabela 08: Resultados da média do sódio trocável, percentagem de sódio trocável e do pH das amostras de solos.**

SOLO	NNG (%)						
	50	75	100	125	150	175	200
	<b>Na<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
<b>S1</b>	2,37	1,50	0,82	0,50	0,36	0,30	0,19
<b>S2</b>	4,18	2,78	2,06	1,57	1,19	1,05	0,93
	<b>PST (%)</b>						
<b>S1</b>	18,30	11,60	6,34	3,88	2,78	2,31	1,50
<b>S2</b>	26,87	17,89	13,26	10,06	7,65	6,74	5,98
	<b>pH</b>						
<b>S1</b>	7,87	7,53	7,25	7,13	7,06	6,95	6,82
<b>S2</b>	7,81	7,35	7,05	6,91	6,73	6,67	6,62

Legenda: S1= Solo Franco-Argiloso, S2 = Solo Argilo-Siltoso, NNG: Níveis da Necessidade de Gesso, Na<sup>+</sup>= Sódio Trocável, PST =Percentagem de Sódio Trocável

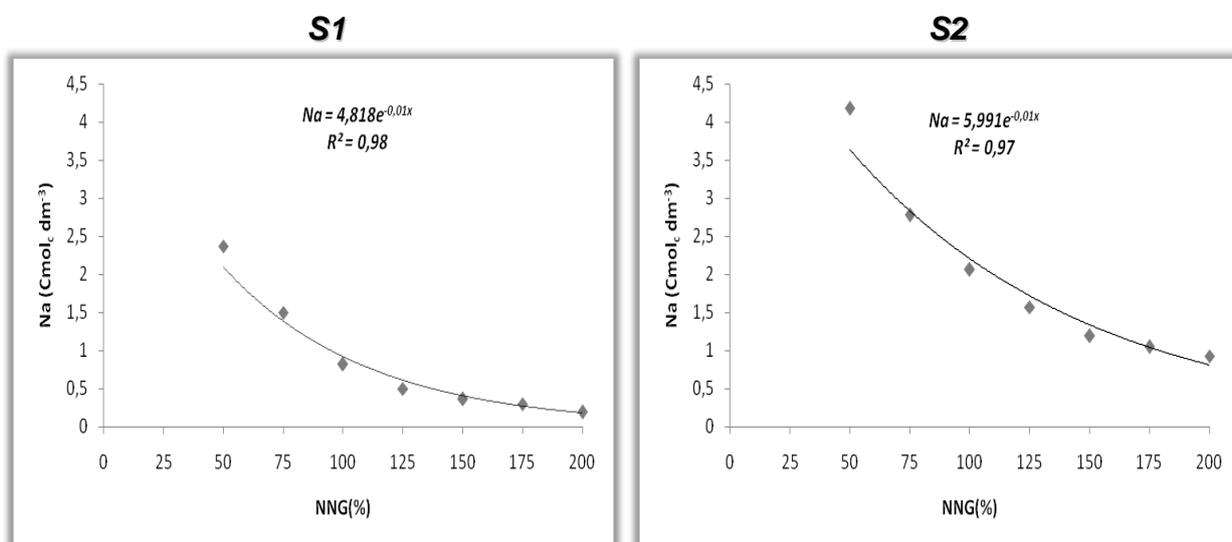
Barros & Magalhães (1995) trabalhando com solos salino-sódicos do Nordeste do Brasil, observaram que a aplicação de NNG corrigiu a PST para valores < 15%. Resultados semelhantes foram obtidos por Silveira (2008).

Os valores apontados na (Tabela 08) comprovam que os NNG, refletiram na redução dos valores de pH, em virtude, provavelmente da menor predominância do sódio trocável em relação ao demais cátions do complexo sortivo e do menor efeito tamponante dos sais após a lavagem.

Os resultados do presente estudo estão similares com os de Gupta & Abrol (1990) que também relatam que há uma relação direta entre a PST e o pH do solo. Estes autores concluíram que depois da aplicação de gesso, a concentração de sódio trocável é inferior àquela da condição inicial, ficando claro a diminuição do pH dos solos que receberam o corretivo em relação ao tratamento que não recebeu gesso, fato também verificado por Suhayda et al. (1997), em experimento de campo.

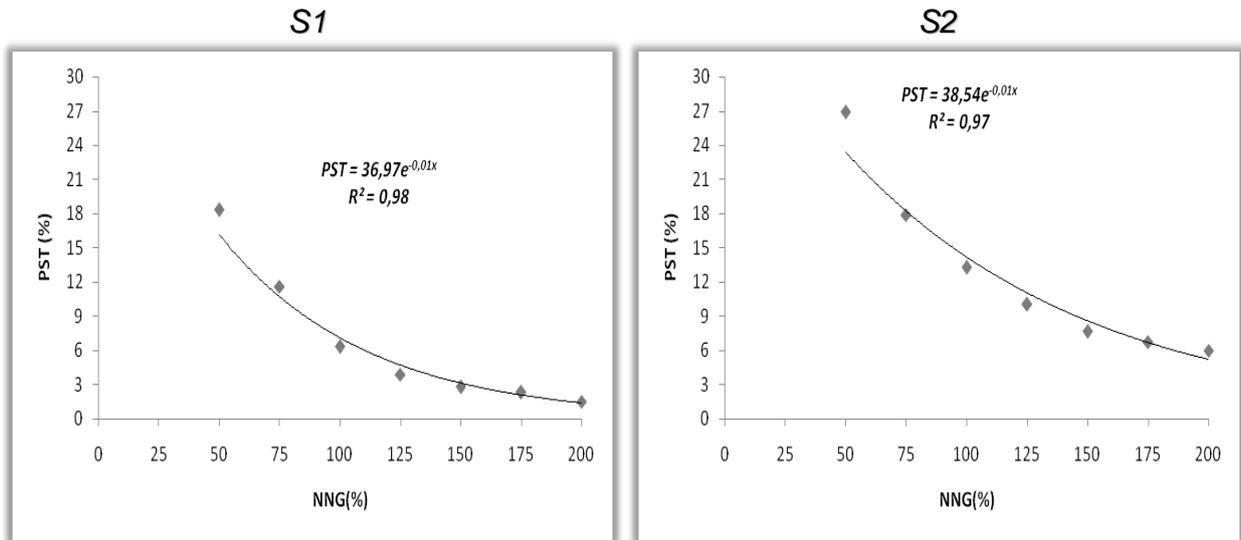
Reduções nos valores de pH depois da aplicação do gesso em solo salino-sódico também foram observados por outros (Cavalcante, 1985 e Liang et al., Silveira, 2000).

Relações entre os NNG e sódio Trocável foram avaliadas e apresentadas na (Figura 15). A variável em estudo aponta valores significativos que se ajustaram ao modelo exponencial, apresentando coeficientes de determinação oscilando entre 0,96 e 0,98. Este comportamento ocorreu em consequência da reação de substituição do cálcio advindo do gesso pelo sódio trocável, reduzindo os valores de sodicidade, comprovando que o método Shoonover M-1, mostrou-se eficiente na estimativa da quantidade de gesso utilizada para a transferência do sódio da forma trocável para a solúvel.

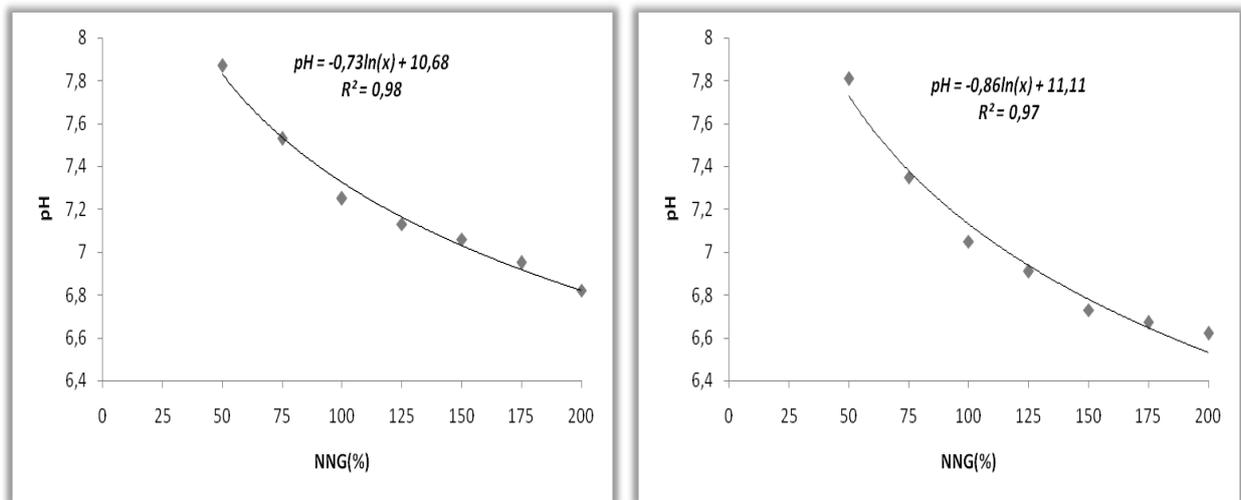


**Figura 15.** Sódio trocável das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

As Relações entre os NNG, PST e pH foram testados nas (Figuras 16 e 17). As variáveis em estudo indicam valores significativos que se ajustaram aos modelos exponencial e logarítmico. Este efeito ocorreu em virtude do aumento da quantidade de corretivo aplicada as amostras de solos, causando redução da sodicidade.



**Figura 16.** Percentagem de sódio trocável das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso



**Figura 17.** pH das amostras de solos em função dos níveis da necessidade de gesso

## 5. CONCLUSÕES

- O nível de 100% da necessidade de gesso causou diminuição da sodicidade para valores de  $RAS < 13 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  e  $PST < 15\%$ , apresentando-se como método eficiente na redução dos teores de sódio trocável em áreas afetadas por sais;

- A lâmina de lixiviação de três vezes o volume de poros reduziu a CE da pasta de saturação para valores  $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo indicada para a correção da salinidade dos solos em estudo;

- As quantidades crescentes dos níveis do corretivo provocaram aumento na condutividade hidráulica saturada dos solos e no grau de flocculação.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Slope, aspect, and phosphogypsum effects on run off and erosion. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, p.1102-106, 1990.

AGRA, M. G.; CAVALCANTE, L. F. Efeito da drenagem e do gesso agrícola num solo irrigado afetado por sais. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v.1, n.2, p.151-158, 1992.

AHAMAD, E.; JONES, R.L.; HINESLY, T.D. Electromelioration of a sodic horizon from an Illinois Natraqualf. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.1761-1765, 1997.

AMARAL, F. C. S., Parahyba, R. B. V; Silva, F.H.B.B., Leite, A. P.; Batista, M. J.; Barros, J.C. **Caracterização pedológica e estudos de drenabilidade dos perímetros de irrigação Brígida, Caraíbas e Apolônio Sales, Estado de Pernambuco**- Dados eletrônicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007, 68p.(Boletim de pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Solos; 116).

ALMEIDA NETO, O. B. **Caracterização físico-química, determinação de metais e especiação de crômio, ferro, nitrito, nitrato para avaliação da contaminação de rios receptores de esgotos domésticos e industriais**. Viçosa – MG: UFV, 2003. 120p.

ARORA, H. S.; COLEMAN, N. T. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. **Soil Science.**, v.127: 134-9.1979.

BARROS, M. F. C.; MAGALHÃES, A. F. Avaliações de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos Salino-sódicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13: 119-123, 1989.

BARROS, M. F. C.; MAGALHÃES, A. F. **Recuperação de solo salino-sódicos II. Eficiência do gesso aplicado**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1995 Viçosa, MG. Resumo. Vitoria, SBCS, 1995. p.2263-65.

BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, 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 engenharia agrícola e ambiental**, v.8, p.59-64, 2004.

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 engenharia agrícola e ambiental**, v.9, p.320-326, 2005.

BARROS, M. de F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M.; FERRAZ, F. B.; Avaliação de níveis para correção de sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, V.1, p. 17-21, 2006.

BARROS, M de F. C.; BEBÉ F. V.; SANTOS T. O., CAMPOS M.C.C., Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de biologia e ciências da terra**.v.9, n.1.2009.

BARROS, M de F. C **Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso de gesso de jazida e calcário** (Tese em Solos e Nutrição de Plantas). 112 f. 2001, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

BRESLER, E., McNEAL, B.L., CARTER, D.L. **Saline and sodic soils**. Principles-dynamics-modeling. New York, Springer-Verlag, 238 p, 1982.

BRONICK, C.J. & LAO, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, 124:3-22, 2005.

CAMARGO, M.N.; CLANT, E.; CAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Separata do B. Inf., **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 12:11-33, 1987.

CAVALCANTE, L.F. **Sais e seus problemas**, 1980. 68f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Solos e Água) - Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias – Areia/PB.

CAVALCANTE, L.F.; SILVEIRA, R.I. **Modo de aplicação e doses de fosfogesso sobre a condutividade hidráulica, pH e lixiviação de sódio de um solo salino-sódico da Paraíba.** Anais da ESALQ, v.42: 1-14, 1985.

CAVALCANTE, L.F.; SOUSA, R.P. de; OLIVEIRA, F.A de., SOUZA, C.C. de,; VIEIRA, J.E. **Utilização de gesso agrícola e matéria orgânica, na água de irrigação, sobre a melhoria física e química de um solo afetado por sais.** Curso em Manejo de Solo e Água, Anais... v.22, p.58-69, 2000.

CARVALHO, R. M. C. M. O.; Sobral, M. C.; Silva, M.M. **Manejo de salinidade em perímetros irrigados no semi-árido pernambucano.** In: Anais do Workshop Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. Convivência em Busca da Sustentabilidade, 2007, Campina Grande, CD ROM.

CHAVES, L. H. G.; ROLIM, H. D. **O efeito da aplicação do sulfato de alumínio e sulfato de cálcio, sobre a permeabilidade de um solo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, RJ, 1997, Resumos... Rio de Janeiro, SBCS, 1997. (CD)

COELHO, M.A.; FERREYRA, F.F. **Characterization of salt-affected soil in the semi-arid region of Northeastern Brazil.** Turrialba, São José, v.36, n.2, p.171-178, 1986.

CONDEPE / FIDEM, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Perfil municipal. Correspondente ao ano de 2007, Disponível em: <[http://www.condepefidem.pe.gov.br/perfil\\_municipal/municipios](http://www.condepefidem.pe.gov.br/perfil_municipal/municipios)>. Acesso em 08 de julho de 2008.

CPRM - **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Diagnóstico do Município de Ibimirim, Pernambuco, outubro de 2005.**

DE JONG, E. Reclamation of soils contaminated by sodium chlorid. Can. J. **Soil Science**, 62:351-364, 1982.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SNLCS. **Manual de Métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 211p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Diagnóstico e planejamento de sistemas agroflorestais na microbacia Ribeirão Novo, Município de Wenceslau Braz, Estado do Paraná. Colombo: Embrapa, 1998. 54 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 35)

FERREIRA, P. A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. In ABEAS, Viçosa, MG, 1997. 141p. (ABEAS. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação. Módulo, 10).

FERREIRA, P. A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. Brasília: ABEAS, Viçosa: UFV, 2002. 141p. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação.

FONSECA, A. M. M. **Avaliação da dispersibilidade de argila em neossolo flúvico, em função da qualidade de água e relação solo: água**. Recife, UFRPE, 2000. 73p. (Dissertação de Mestrado).

FREIRE, M.B.G.S. **Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66p.

FREIRE, M.B.G. dos S., RUIZ, H.A., RIBEIRO, M.R., FERREIRA, P.A., ALVAREZ V., V.H., FREIRE, F.J. 2003 a. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17 (1) 45-52.

GHEYI, H.R., QUEIROZ, J.E. e MEDEIROS, J.F. In: Simpósio manejo e controle da

salinidade na agricultura irrigada, 27. 1997. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1995. 383p.

GHIBERTO, P. J.; PILATTI, M. A.; IMHOFF, S & ORELLANA, J. A. de. Hydraulic conductivity of Molisolis irrigated with sodio-bicarbonated waters in Santa fe (Argentina). **Agricultural water Management**, v.88, p. 192-200, 2007.

GIRDHAR, I.K.; YADAV, J.S.P. **Effect of different Mg/Ca ratios RAS values and eletrolyte concentrations in the leaching water of the dispersion and hydraulic conductivity of soils**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS. PRINCIPLES AND PRATICES FOR RECLAMATION AND MANAGEMENT, Karnal, 1980. Proceedings. p. 210-8.

GJORUP, G.B. **Influência da carga permanente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 41p. (Tese de Mestrado).

GOBRAN, G. R.; DUFEY, J. E.; LAUDELOUT, H. The use of gypsum for preventing soilk sodification: effect of gypsum particle size and location in the profile. **Jornal Soil Science**, v.33: 309-316, 1982.

GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON, A.D. (Eds). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. ed. Washington: **American Public Health Association**. 1992. p.32-39.

GUPTA, R.K.; ABROL, I.P. Salt-affected soils: their reclamation and manegement for cropproduction. **Advances in Soil Sciences**, New York v.11, p.224-88, 1990.

HOLANDA, J.S.; VITTI, G.C.; SALVIANO, A.A.C.; MEDEIROS, J.D.F.; AMORIM, J.R. de A. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.387-394, 1998.

IZHAR, UL. H. et al. Effect of horizontal flushing on the reclamation of sodic soils and yield of fodder crops after gypsum application. **International Journal of Agriculture and Biology**, Islamabad, v.3, n.3, p.323-325, 2001.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408p.

KEIFFER, C.H.; UNGAR, I. A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, p.402-415, 2002.

KEREN, R.; ÓCONNOR, G. A. Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. **Soil Science**. Soc. Amer. Jour., Visconsi, v. 46, p. 726-732, 1981.

LIANG, J.; KARAMANOS, R.E.; MOIR, M.E. The influence of brine contamination and phosphogypsum amendments on soil chemical properties and plant response. **Soil Science Plant Analysis**, New York, v.26, p.1033-1057, 1995.

LIMA, L. A. **Efeitos de sais no solo e na planta**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-136.

LIMA, L.A.; GRISMER, M.E. & NIELSEN, D.R. Salinity effect on yolo loam hydraulic properties. *Soil Sci.*, 150:451-458, 1990.

MAGALHÃES, A.F. **Métodos de análise químicas para solos salinos e sódicos**. Recife: Departamento de Agronomia, UFRPE, 1987. 30p

MAGALHÃES, A. F. **Manejo da fertilidade dos solos irrigados: produtividade, degradação e correção**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1995, Petrolina, PE. Anais... Petrolina, SBCS, 1995. p. 77-86.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. de & OLIVEIRA, M. de. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a Razão de Adsorção de

Sódio - I. Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Mossoró, 1998. 47-52p.

MELO R. M.; BARRO M. F.C.; SANTOS P. M., ROLIM M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral1 **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.376–380, 2008

MESQUITA, M.G.B.F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. Piracicaba, ESALQ, 2001. 110 f. (Tese de Doutorado).

MILLAR, A.A. Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1978, 276p.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.; MONTEIRO, A.L.; MACKAY, R. **Recarga de Origem Pluviométrica em Aluviões – Estudo de Caso no Semi-árido Nordestino**. In: III SIMPOSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 2001, Campina Grande – PB. Anais Petrolina: ABCMAC, 2001. V. CD-rom.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G. Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semi – Árido. IN: CABRAL, J.S.P.; FERREIRA, J.P.C.L.; MONTENEGRO,S.M.G.L.; COSTA,W.D. **Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento**. Tópicos especiais em Recursos Hídricos v. 4. Recife: ed. Universitária da UFPE, 2004. 447 p. il., fig. Fotos, gráf. Mapas.

MORAIS, C. D.; CAVALCANTE, L. F.; ARRUDA, N. T. **Ação do gesso agrícola sobre algumas propriedades físico-hídricas de um solo irrigado**. Anais do Curso de Pós- Graduação em Manejo de Solo e Água, Areia, v.17, p.5-16, 1997.

MOURA, R.F. **Lixiviação em material de solo salinizado do perímetro irrigado do projeto Gorotuba- MG. Viçosa, UFV. 1989. 68p**. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.

NAIDU, R.; RENGASAMY, P. Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.31, p.801–819, 1995.

NOGUEIRA, R.J.M.C **Efeito do déficit hídrico no comportamento fisiológico de quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) adubadas ou não com N-Mineral**. Recife, UFRPE, 1987. 156p. (Dissertação de Mestrado).

OSTER, J.D.; SHAINBERG, I. **Predicting the hydraulic properties of sodic soils**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS. PRINCIPLES AND PRACTICES FOR RECLAMATION AND MANAGEMENT, Karnal, 1980. Proceedings. p.195-200.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Española. 521p., 1985.

QADIR, M.; QURESHI, R.H. & AHMAD, N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, 72:207-217, 1996.

QADIR, M.; QURESHI, R.H. & AHMAD, N. Horizontal flushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. **Soil Till. Res.**, 45:119-131, 1998.

QUIRK, J.P.; SCHOFIELD R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. **Journal of Soil Science**, v. 6, p. 163-178, 1955.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais**. Ministério das Minas e Energia. Secretaria geral. Rio de Janeiro: MME, 1981. 25p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres. 1991. 343 p.

RAMIREZ, H.; RODRIGUEZ, O.; SHAINBERG, I. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. **Soil Science**, Baltimore, v.164, p.351-357, 1999.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. 119p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manoele Ltda, 1990.

RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.34, n.3, p.723-732, 1983.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K.A. Sodicity and soil structure. **Australian Journal of Soil Research.**, v.29: 935-952, 1991.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Minas Gerais, Volume III, 2003

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.

RODRIGUES NETO, A. Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 144p. (Tese de Mestrado).

SAMPAIO, R.A. **Manejo da água na recuperação de solos salino-sódicos, em colunas**. Viçosa: UFV, 1993, 75p. Dissertação Mestrado.

SAMPAIO, R.A.; RUIZ, H.A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviações parceladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.13-20, 1996.

SANTOS, R. V. dos.; HERNANDEZ, F. F. F. Recuperação de solos afetados por sais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p. 319-361.

SCHOONOVER, W. R. Examination of soils for alkali. Berkeley: University of California. **Extension Service**, 1952. Mimeographed.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A. &

FEY, M.V. Use of gypsum on soils. **A Review Advance Soil Science**, New York, 9:1-111, 1989.

SILVA, A.J.N. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 120p. (Tese de Doutorado)

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, V. B. **Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim-PE**. Recife: UFPE, 2006. 88f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SILVEIRA, K.R. **Influência da aplicação do gesso na água de irrigação sobre a salinidade, sodicidade e condutividade hidráulica de solos aluviais**. Recife: UFRPE, 2000. 73p. Dissertação Mestrado.

SILVEIRA, K. R.; SILVEIRA, R.R.; OLIVEIRA, F. A. formação e estabilidade de agregados de um solo sódico tratado com gesso e com vinhaça. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, 2, 1999. **Resumo...**, Recife, Imprensa Universitária, 1999.p.80.

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. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n.1, pag. 69-76, 2008.

SUHAYDA, C.G.; YIN, L.; REDMANN, R.E.; LI, J. Gypsum amendment improves native grass establishment on saline-alkali solis in north-east China. **Soil Use and Management**, Oxford, v.13, p.43-47, 1997.

SUMNER, M. E. **Sodic Soils: new perspectives.** In: NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; RENGASAMY, P. **Australian Sodic Soils: distribution, properties and management.** Victoria, CSIRO, 1995. p. 1-34.

TEMÓTEO, J.W.C. Base municipal de informações das águas subterrâneas – município de Ibimirim – PE. Recife: CPRM, 2000. 18p.

VELOSO, M.E.C. **Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1991.

YAGUE, J. L. F. **El suelo y los fertilizantes.** Madrid. Editorial Mundi-prensa, 1994. 327p.

YOUNGS, E. G. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Eds.). **Soil analysis: physical methods.** New York: M. Dekker, 1991. p. 161-207.

**ANEXO**

## ANÁLISE DA VARIÂNCIA

**Tabela 01.** Análise da variância da Condutividade Elétrica (CE) na lâmina de lixiviação de uma vez e meia o volume de poros (1,50VP) das amostras de solos

### QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	8690.41006	8690.41006	101264.35 **
Fator2 (Gesso)	6	139.28003	23.21334	270.4917 **
Int. F1xF2	6	3.29562	0.54927	6.4003 **
Tratamentos	13	8832.98572	679.46044	7917.3617 **
Resíduo	28	2.40293	0.08582	
Total	41	8835.38865		
CV% = 4,21%				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 02:** Análise da variância da Condutividade Elétrica (CE) na lâmina de lixiviação de três vezes o volume de poros (3,00VP) das amostras de solos

### QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	50.95209	50.95209	1183.9489 **
Fator2 (Gesso)	6	5.20680	0.86780	20.1646 **
Int. F1xF2	6	0.06291	0.01049	0.2437 *
Tratamentos	13	56.22180	4.32475	100.4922 **
Resíduo	28	1.20500	0.04304	
Total	41	57.42680		
CV% = 5.91				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 03:** Análise da variância do Sódio Solúvel (Na<sup>+</sup>) na lâmina de lixiviação de uma vez e meia o volume de poros (1,50VP) das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	90407.61677	90407.61677	1991.0772 **
Fator2 (Gesso)	6	6322.75049	1053.79175	23.2080 **
Int. F1xF2	6	33.15906	5.52651	0.1217 *
Tratamentos	13	96763.52632	7443.34818	163.9274 **
Resíduo	28	1271.37873	45.40638	
Total	41	98034.90506		

CV% = 6.70

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 04:** Análise da variância do Sódio Solúvel (Na<sup>+</sup>) na lâmina de lixiviação de três vezes o volume de poros (3,00VP) das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	4657.62962	4657.62962	3616.4261 **
Fator2 (Gesso)	6	830.15076	138.35846	107.4287 **
Int. F1xF2	6	12.35120	2.05853	1.5984 *
Tratamentos	13	5500.13157	423.08704	328.5068 **
Resíduo	28	36.06147	1.28791	
Total	41	5536.19304		

CV% = 3.67

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 05:** Análise da variância do potássio (K<sup>+</sup>) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	0.00644	0.00644	338.0000 **
Fator2 (Gesso)	6	0.00042	0.00007	3.7083 **
Int. F1xF2	6	0.00020	0.00003	1.7083 ns
Tratamentos	13	0.00706	0.00054	28.5000 **
Resíduo	28	0.00053	0.00002	
Total	41	0.00759		
CV% = 9.45				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 06:** Análise da variância do magnésio (Mg<sup>++</sup>) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	1.26534	1.26534	861.3306 **
Fator2 (Gesso)	6	0.01157	0.00193	1.3123 ns
Int. F1xF2	6	0.01221	0.00204	1.3857 ns
Tratamentos	13	1.28912	0.09916	67.5014 **
Resíduo	28	0.04113	0.00147	
Total	41	1.33025		
CV% = 6.04				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 07:** Análise da variância do cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	139.99577	139.99577	565.0253 **
Fator2 (Gesso)	6	910.65412	151.77569	612.5692 **
Int. F1xF2	6	30.76336	5.12723	20.6936 **
Tratamentos	13	1081.41326	83.18564	335.7386 **
Resíduo	28	6.93753	0.24777	
Total	41	1088.35079		
CV% = 5.21				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 08:** Análise da variância do sódio solúvel ( $\text{Na}^+$ ) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	1856.68006	1856.68006	3096.8754 **
Fator2 (Gesso)	6	1145.70611	190.95102	318.4994 **
Int. F1xF2	6	76.63699	12.77283	21.3046 **
Tratamentos	13	3079.02316	236.84794	395.0538 **
Resíduo	28	16.78693	0.59953	
Total	41	3095.81010		
CV% = 5.80				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 09:** Análise da variância da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos.

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	291.98447	291.98447	691.8907 **
Fator2 (Gesso)	6	1257.45698	209.57616	496.6148 **
Int. F1xF2	6	46.51333	7.75222	18.3698 **
Tratamentos	13	1595.95478	122.76575	290.9075 **
Resíduo	28	11.81627	0.42201	
Total	41	1607.77105		
CV% = 8.88				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 10:** Análise da variância da Condutividade Elétrica (CE) no extrato da pasta de saturação das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	34.07402	34.07402	10538.3571 **
Fator2 (Gesso)	6	1.55999	0.26000	80.4119 **
Int. F1xF2	6	0.01636	0.00273	0.8434 *
Tratamentos	13	35.65037	2.74234	848.1453 **
Resíduo	28	0.09053	0.00323	
Total	41	35.74091		
CV% = 2.16				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 11:** Análise da variância da condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	3.51598	3.51598	5321.0977 **
Fator2 (Gesso)	6	0.39070	0.06512	98.5477 **
Int. F1xF2	6	0.34661	0.05777	87.4266 **
Tratamentos	13	4.25329	0.32718	495.1495 **
Resíduo	28	0.01850	0.00066	
Total	41	4.27179		
CV% = 11.20				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 12:** Análise da variância do Grau de Flocculação (G.F) das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	16875.28415	16875.28415	650.3501 **
Fator2 (Gesso)	6	3730.69096	621.78183	23.9626 **
Int. F1xF2	6	2279.50875	379.91812	14.6415 **
Tratamentos	13	22885.48386	1760.42184	67.8442 **
Resíduo	28	726.54400	25.94800	
Total	41	23612.02786		
CV% = 10.23				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 13:** Análise da variância do sódio trocável (Na<sup>+</sup>) das amostras de solos

## QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	12.67202	12.67202	889.4133 **
Fator2 (Gesso)	6	34.93070	5.82178	408.6144 **
Int. F1xF2	6	1.31036	0.21839	15.3284 **
Tratamentos	13	48.91308	3.76254	264.0823 **
Resíduo	28	0.39893	0.01425	
Total	41	49.31201		
CV% = 1.96				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 14:** Análise da variância da Percentagem de Sódio Trocável (PST) das amostras de solos

## QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	373.33449	373.33449	576.0784 **
Fator2 (Gesso)	6	1687.10599	281.18433	433.8850 **
Int. F1xF2	6	20.47338	3.41223	5.2653 **
Tratamentos	13	2080.91386	160.07030	246.9985 **
Resíduo	28	18.14573	0.64806	
Total	41	2099.05959		
CV% = 8.34				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 15:** Análise da variância do pH das amostras de solos

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (Solo)	1	0.47149	0.47149	426.7780 **
Fator2 (Gesso)	6	5.65139	0.94190	852.5805 **
Int. F1xF2	6	0.06463	0.01077	9.7500 **
Tratamentos	13	6.18751	0.47596	430.8278 **
Resíduo	28	0.03093	0.00110	
Total	41	6.21844		
CV% = 1.97				

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )